Forest Health in Canada

Atlantic Maritime Ecozone

2003

J. Edward Hurley,
Judy Loo,
Pierre DesRochers,
and Harry Hirvonen

Natural Resources Canada | Ressources naturelles Canada

Canada

Terrestrial Ecozones of Canada

Terrestrial Ecozones of Canada

104-06709/

Forest Health in Canada

Atlantic Maritime Ecozone 2003

J. Edward Hurley, Judy Loo

Natural Resources Canada, Canadian Forest Service,

Atlantic Forestry Centre, Fredericton, NB

Pierre DesRochers

Natural Resources Canada, Canadian Forest Service,

Laurentian Forestry Centre, Sainte-Foy, QC

Harry Hirvonen

Natural Resources Canada, Canadian Forest Service,

Science Branch, Ottawa, ON

Published by

Natural Resources Canada

Canadian Forest Service

Science Branch

Ottawa, 2004

© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2004
ISBN 0-662-68240-8
Cat. No. Fo42-339/2004

Copies of this publication may be obtained free of charge from:
Natural Resources Canada
Canadian Forest Service
Ottawa, ON
K1A 0E4

Phone: (613) 947-7341

A microfiche edition or photocopies of this publication may be purchased from:
Micromedia Proquest
20 Victoria Street
Toronto, ON
M5C 2N8

Phone: (416) 362-5211, 1-800-387-2689
Fax: (416) 362-6161

Editing and Production: Paula Irving
Design and Layout: Danielle Monette

Photographs

Cover: Grassy Lake north of Fundy National Park, New Brunswick; *background texture*, ferns in Fundy National Park; photos by J. David Andrews.

Inside: page 10, male brown spruce longhorn beetle, courtesy of Klaus Bolte, Natural Resources Canada (NRCan), Canadian Forest Service (CFS), Science Branch, Ottawa; all other photos courtesy of NRCan, CFS, Atlantic Forestry Centre, Fredericton, NB.

All photographs ©Her Majesty the Queen in Right of Canada.

National Library of Canada cataloguing in publication data

Main entry under title : Forest health in Canada, Atlantic maritime ecozone 2003
Text in English and French on inverted pages.

Title on added t.p.: L'État de santé des forêts au Canada, écozone de l'Atlantique maritime 2003.
Includes bibliographical references.
ISBN 0-662-68240-8
Cat. No. Fo42-339/2004

1. Forest health – Atlantic Provinces.
2. Forest ecology – Atlantic Provinces.
I. Hurley, J. Edward (John Edward), 1956-
II. Canadian Forest Service. Science Branch.
III. Title: L'état de santé des forêts au Canada, écozone de l'Atlantique maritime 2003.

SB764.C3F67 2004 333.75'09715 C2004-980196-1E

Printed on recyclable paper

PRINTED IN CANADA

Printed on alkaline permanent paper

Contents

5 **Highlights**

6 **Introduction**

6 **Major Forest Ecosystems**
6 Atlantic Maritime Ecozone

6 **Forest Landscape Conditions**
7 Pre-industrial Ecological Influences
7 Current Ecological Influences

9 **Biodiversity**
9 Impacts of Invasive Alien Species
11 Impacts of Land Use

12 **Atmospheric Environment**
12 Impacts of Air Pollution
13 Potential Impacts of Climate Change
14 1998 Ice Storm

15 **Appendix 1.** Major Forest Ecosystems of the Atlantic Maritime Ecozone

17 **Appendix 2.** Common and Scientific Names of Organisms

18 **References**

Highlights

- Invasive alien insect and disease species are of increasing concern to the health and economic viability of the forest ecosystems within the ecozone.
- Brown spruce longhorn beetle, an alien invasive found in Halifax in 1999, could threaten the ecological integrity of spruce forest ecosystems and trade.
- Butternut is under attack by a new and potentially devastating disease and is now undergoing assessment by the Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada to determine whether it requires a species at risk designation.
- Pine shoot beetle, a recent North American introduction from Asia, is capable of damaging all native pine species in Quebec, where the insect has been found, possibly leading to trade restrictions.
- Beech bark disease, an insect–disease complex introduced 100 years ago, is killing mature trees in northern New Brunswick.
- Dutch elm disease and white pine blister rust are well-established diseases that continue to devastate the health of white elm and eastern white pine, respectively.
- Land use practices including forest harvesting over three centuries have changed forest composition, dramatically decreasing the frequency of some tree species such as red oak in Quebec and bur oak and eastern white-cedar in the Maritime provinces and increasing frequency of others such as balsam fir, red maple, and trembling aspen in some parts of the ecozone.
- There is a direct causal relationship between deteriorating air quality (increased ozone concentrations, increased acid loading) and increased mountain paper birch decline, particularly along the Bay of Fundy coast.
- Climate change is forecast to increase climatic extremes which, in turn, affect forest health through, for example:
  - increased blowdown
  - more frequent ice storms
  - winter damage due to prolonged thaw which weakens trees
  - enhancing the survival and establishment of some invasive alien pests originating from southern areas.

Introduction

Canada is committed to sustainable development. Reflecting this commitment, the Canadian Council of Forest Ministers (CCFM) has adopted national criteria and related indicators (usually referred to as C&I) that serve to measure and report the collective progress of the country towards sustainable forest management (CCFM 2000). Two of the CCFM criteria relate to keeping forests healthy—conservation of biological diversity and maintenance and enhancement of forest ecosystem condition. The Canadian Forest Service (CFS), in cooperation with partners, has a mandate to report on the health of Canada's forests and to determine if, how, and why it is changing. Syntheses on forest health also facilitate the CCFM's C&I reporting process.

CFS released its first national forest health synthesis in 1999, *Forest Health in Canada: An Overview 1998* (CFS 1999a), in which forested ecozones were used as the ecological reporting framework. Future efforts will now focus on producing a series of reports; each report will summarize the key forest health issues in a single ecozone or in two to three related ecozones. This enables us to discuss regional issues in more detail. A national synopsis will be done after the last report is published.

The Forest Health in Canada series is intended for a nontechnical audience. A comprehensive forest health Web resource is also being designed. It will feature the reports as they become available, with links to more information on forest health topics.

Major Forest Ecosystems

Canada consists of 15 terrestrial and 5 marine ecozones (Ecological Stratification Working Group 1996). These ecozones delineate ecologically distinctive areas of the earth's surface. They represent a distinct mesh and interplay of geologic, climatic, vegetative, wildlife, and human factors. The dominance of one or several of these factors varies with the ecozone. Terrestrial ecozones are used by several federal agencies for national reporting purposes, for instance for the CCFM's C&I, and by some provinces and territories. Internationally, they are linked to the Ecological Regions of North America, developed by the Commission for Environmental Cooperation[1], and to the FAO's global ecological zones (FAO 2001).

The majority of Canada's forests lie within nine ecozones: Pacific Maritime, Montane Cordillera, Boreal Cordillera, Taiga Plains, Boreal Plains, Taiga Shield, Boreal Shield, Mixedwood Plains, and Atlantic Maritime. Forested ecozones may encompass a few to several major forest ecosystem types. These forest types serve as the basis for discussion of forest health within these ecozones.

In general, a healthy forest is one that maintains biodiversity, resiliency, wildlife habitat, aesthetic appeal, and resource sustainability

Atlantic Maritime Ecozone

The Atlantic Maritime Ecozone includes nine main forest types, together known as the Acadian Forest: tolerant broadleaf trees—nutrient-rich soils; tolerant broadleaf trees—upper slopes and ridges; mixedwood forests—upland; mixedwood forests—fire-originated; mixedwood forests—wetland soils; softwood forests—wetlands; softwood forests—coastal; softwood forests—highland; softwood forests—lowland (Loo and Ives 2003; Parent 2002a; Parent 2002b). A brief description of each forest type is found in Appendix 1. Scientific names of organisms mentioned in the text are listed in Appendix 2.

Forest Landscape Conditions

Historically, the Acadian Forest was characterized by a mixture of tree species, including red spruce, American beech, sugar maple, yellow birch, balsam fir, and eastern white pine (Loucks 1962). Major natural disturbances included insects, diseases, and climatic events such as windthrow. Insects and diseases, particularly spruce budworm, remain a major ecological influence. Before intensive human activity, wildfire played a key role in ecosystem development in some areas of the ecozone. Since settlement, fire frequency increased, then after effective fire suppression, the role of wildfire declined (Johnson 1986). Forest fragmentation and an increasing broadleaf component in forests have also reduced the impact of wildfires.

In the following section, "pre-industrial" refers to the period after European exploration and settlement but before large-scale land clearing and urbanization.

[1] An international organization created by Canada, Mexico, and the United States under the North American Agreement on Environmental Cooperation.

This section looks at the major forest types of the ecozone through a brief comparison of pre-industrial natural influences and current influences on these forests. For the latter, the concentration is on the role of human-induced disturbances directly on the forest or indirectly through alteration of natural disturbance cycles.

Pre-industrial Ecological Influences

Fire

Fire has had a sporadic history in forest development and succession within the ecozone. It has played a key role in stand replacement in mixedwood forest ecosystem types on dry, well-drained sites. Various pines, in association with trembling aspen, white birch, red maple, and red oak, characterized these mixedwood fire types (Ministère des Ressources naturelles 2003). Stand-replacing fires over a large area were infrequent. Evidence, for example, suggests that return intervals for major fires in the broadleaf forests of the nutrient-rich valley and lower slopes were 800–1200 years (Lorimer 1977). For the lowland softwood forests dominated by red spruce, studies from Maine suggest that large-scale light-to-moderate disturbances, including fire, occurred at intervals of approximately 250 years (Lorimer 1977). Within this ecozone in Quebec, fire return intervals may have reached up to 1000 years, mainly because of the relative absence of tree species favoring wildfires, such as jack pine or eastern white pine.

Insects and Diseases

Under natural conditions, disturbance and forest replacement occur in small patches primarily as a result of mortality from insects or diseases or sometimes from devastation by ice storms. Native forest insects can significantly change the forest composition and structure within natural forest successional cycles (CFS 1999a). Data from old-growth forests in the Lower Saint Lawrence–Gaspé peninsula suggest that patch disturbance caused by individual tree aging and death and localized insect and disease outbreaks were a major process of stand evolution in humid forests (Ministère des Ressources naturelles 2003). As a result, forest structure was generally uneven. In balsam fir forests, for example, this process allowed the establishment of a major white spruce component and associated species such as white birch.

The Atlantic Maritime Ecozone has been affected by two major forest insects that are distributed over much of Canada's forests east of the Rocky Mountains. Spruce budworm and forest tent caterpillar outbreaks have been cyclical though not necessarily predictable. Infestations from these insects have lasted more than 5 years. The spruce budworm despite its name prefers balsam fir. Forest tent caterpillar attacks broadleaf species particularly trembling aspen and birches. Lengthy infestations by either insect, through repeated moderate and severe defoliation, have significantly increased growth loss and mortality in stands (Sterner and Davidson 1982; Hall and Moody 1994; Frontline Express 2001). Outbreaks of spruce budworm in pre-settlement forests were smaller in area than those recorded in the 20th century (Lortie 1979).

Several other native insects have caused damage or defoliation to varying degrees in the forests of the ecozone. These insects include hemlock looper, white pine weevil, whitemarked tussock moth, spruce beetle, eastern larch beetle, yellowheaded spruce sawfly, balsam fir sawfly, balsam twig aphid, and the seedling debarking weevil (Carter 2002; Carter 2001; Carter 2000; Georgeson 2002) . These insects are capable of severe defoliation or mortality, but they have not caused as much damage as the spruce budworm or forest tent caterpillar.

Current Ecological Influences

Insects and Diseases

Spruce budworm continues to be a major disturbance in the highland and lowland softwood and coastal softwood forest types of New Brunswick and Nova Scotia. In some parts of the ecozone, for example, Prince Edward Island (PEI), budworm infestations have become more significant in recent decades. Before European settlement, PEI was 98% forested, with a mixture of primarily upland forest types, but by the 1900s, the forested area was reduced to about 30% (Glen 1997). After the 1930s, societal change led to farm abandonment and a return to early successional species for forest cover that included mainly white spruce. Currently, PEI is almost 45% forested (Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry 2003) and this change is reflected in the defoliation patterns for spruce budworm. Before the 1950s, surveys detected few budworms, but by 1954, it had severely defoliated 80% of the spruce–fir forest of PEI (MacKinnon 1997). In Quebec, during the 20th century, as a result of human influences, the pattern of spruce budworm infestations expanded from local–regional occurrences to include the entire province (Lortie 1979). Increases in budworm outbreak in the Gaspé peninsula have been substantial during this

period. These infestations are due partly to forest compositional change caused by spruce mortality by the European spruce sawfly, an invasive alien insect introduced after 1920, and birch mortality, caused by climate-related decline (Lortie 1979). The altered forest composition of elevated levels of balsam fir created optimal conditions for the budworm to take hold.

A new cycle of budworm infestation is predicted within the next few years. The appropriate combination of climatic conditions as well as the age and the overall area of continuous forests are conducive to the buildup of the insect.

Forest tent caterpillar is a principal defoliator of trembling aspen, which is a pioneer tree species that quickly grows on sites after fire or clear-cutting and is a common species in the fire-originated mixedwood and the upland mixedwood forest types. Forest tent caterpillar, unlike the spruce budworm, does not have serious economic ramifications to the forest industry. Recent outbreaks of the insect in the Maritime provinces occurred from 1979 to 1984 and 1991 to 1996 and the infestations covered 0.4–1.4 million ha. Since 1996 there have been only a few small, localized areas of defoliation (Carter 2002; Hurley and Magasi 1996; Hurley and Magasi 1995). In the Quebec part of the ecozone, the forest tent caterpillar has had minimal economic and ecological impacts; in fact, the large aspen tortrix and the aspen serpentine leafminer have caused more damage than the forest tent caterpillar (Ministère des Ressources naturelles 2002b).

The white pine weevil is damaging spruce and pine plantations increasingly in the Quebec portion of the ecozone. For example, in the Lower Saint Lawrence River–Gaspé peninsula region, its presence in Norway spruce plantations increased from 15% in 1990 to 41% in 2001 (Ministère des Forêts and Forêts Canada 1991; Ministère des Ressources naturelles 2002a; Parent 2002c). However, damage remains light. In the Eastern Townships, the weevil is present in over 80% of the plantations and damage from the insect is considered moderate to severe.

Plantations infected with white pine blister rust in the Lower Saint Lawrence–Gaspé peninsula region increased from 60% in 1992 to 92% in 2001 (Ministère des Ressources naturelles 2002a; Parent 2002c). On average, 23% of the trees were affected. Damage is considered moderate to severe in 70% of these plantations.

Land Use Practices

The increase in frequency, extent, and severity of spruce budworm outbreaks over the past 50 years has been attributed partly to prevalent forest management practices (Blais 1983). Mortality peaked in the 1980s with the last major infestation. Since then, the area of defoliation by spruce budworm has been in general decline with regional infestations of significant defoliation last recorded in the mid-1990s (Carter 2000).

Though the economic impacts of most of the other native insects on the forest sector have been comparatively much smaller than that of the budworm, the economic impact of some insects is increasing. Precommercial thinnings and plantations are creating conditions for the buildup of populations of balsam fir sawfly and the yellowheaded spruce sawfly. Under natural forest conditions, defoliation by these insects has minimal impact on the health of the trees. The increase in plantations (white, black, and Norway spruce and eastern white, red, and jack pine) (Ministère des Forêts and Forêts Canada 1991; Ministère des Ressources naturelles 2002a; Parent 2002e) could result in increased protection costs to prevent widespread attacks from a myriad of native insects and diseases. These include white pine weevil for pine and spruce plantations and scleroderris canker, caused by the fungus *Gremmeniella abietina*, which tends to attack red and jack pine. Currently, protection and management measures appear to be keeping damage from these pests at minimal levels. Plantations increase single-tree species dominance in the landscape, thus increasing the risk of major insect or disease infestation. In a more diverse forest ecosystem, the risk of major infestations, with subsequent economic consequences, is not as high.

In the upland mixedwood forest, selective removal of high-value trees over the past two centuries has increased the broadleaf and balsam fir component. Eastern white pine was the first species to be removed from this forest type, followed by tamarack and large spruce (Perley 1847). Eastern hemlock was felled for tannin to support a thriving tanning industry in the late 19th and early 20th centuries. Eastern white-cedar was cut for fence posts and shingles. The only softwood species that was not targeted for harvest, before the 20th century, was balsam fir. Consequently, this species has become more common over time. Large areas of the original mature upland mixedwood have been cleared and replaced by a younger mixedwood or broadleaf forest or have been converted to softwood plantations. In New Brunswick, about one-third of the forest area that is clear-cut annually is planted with black and white spruce and jack pine.

Biodiversity

Impacts of Invasive Alien Species

Globally, the threat to biodiversity by invasive alien species is regarded as second only to habitat loss (Wilcove 1998). Within this ecozone, invasive alien insect and disease species are becoming a major ecological concern. Most introductions have not yet caused serious damage, although their individual and combined ecological impacts are poorly understood. Surveys carried out by Natural Resources Canada indicate that between 1985 and 1994, damage was regularly detected somewhere within the ecozone by 16–22 invasive alien forest pests. There have been a few invasive species that have caused major ecological disruptions (CFS 1999b). Dutch elm disease, caused by the fungus *Ophiostoma ulmi*, has reduced the

Beech Bark Disease—An Agent of Change

American beech is a tolerant broadleaf species in eastern North America with a contiguous distribution extending from the east coast of Canada's Maritime provinces to about 100 km west of Lake Michigan and as far south as mid-Texas (Tubbs and Houston 1990) . Several isolated populations occur in Mexico. Early descriptions of Atlantic Maritime forests indicate that American beech was the most common precolonization broadleaf tree species, dominating broadleaf ridges, constituting as much as 60% of the trees in the central forest of Prince Edward Island (Sobey 2002), and occurring frequently throughout the tolerant mixedwood forest ecosystem.

Around 1890, an insect–disease complex was introduced to Halifax with devastating consequences. The beech scale, *Cryptococcus fagisuga*, attacks beech trees, making them susceptible to a bark fungus, usually *Nectria coccinea* var. *faginata* and sometimes *N. galligena*, at the beginning of the infection (Houston 1994). The disease has spread throughout much of the Atlantic Maritime Ecozone, the province of Quebec, the New England states, northern Pennsylvania, and New York. It has been detected as far south as West Virginia and west to Ontario and Ohio. Various landowners have reported tree mortality in northwestern New Brunswick in 2002 and possibly earlier. Most beech trees in the southern portion of the region are diseased and fewer are affected in northern New Brunswick. Additional field assessment is required to determine the extent of damage reported by landowners and whether this would represent a more northerly advance of what is described as the "killing front".

Cankered (*left*) and disease-free (*right*) American beech.

Many mature trees have been killed in the first or a subsequent "killing front"; others are so badly damaged by the disease that beech management is a serious challenge in broadleaf areas. The damage is not limited to economic losses; diseased trees produce little seed, reducing beechnut quantity and quality for wildlife. Root suckers are often abundant but young trees are deformed and often do not exhibit disease symptoms until age 30 or later. Beech has become a minor component of forest ecosystems in much of the region. Many tolerant broadleaf stands with a beech component contain a few disease-free individuals, however, and studies have shown that the trees are likely genetically resistant to the scale insect (Houston 1983). Work is under way at the CFS Atlantic Forestry Centre of Natural Resources Canada to propagate disease-free trees and test them for resistance.

populations of its host, white elm, to such an extent that elm is now a minor component of the ecozone (Hall et al. 1996). White pine blister rust, caused by the fungus *Cronartium ribicola*, was introduced to Canada around 1916 and similarly has decimated eastern white pine throughout its range. In the Maritimes, for example, 84 000 m^3 of eastern white pine were lost annually between 1977 and 1981 (Sterner and Davidson 1982) and the losses are continuing.

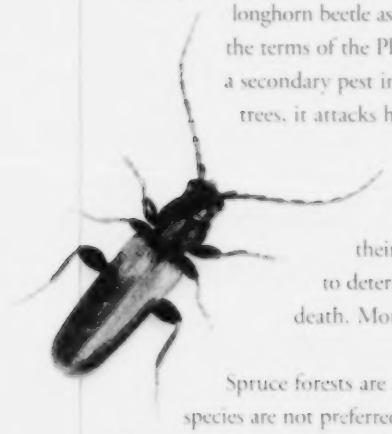
Beech bark disease, caused by the fungus *Nectria coccinea* var. *faginata*, was introduced to North America via Halifax, Nova Scotia, in the 1890s and killed entire stands of American beech as it spread north and west throughout the Maritime provinces (Houston

Brown Spruce Longhorn Beetle—First Known Record in North America

The brown spruce longhorn beetle completes its life cycle in 1 year. Adults emerge as early as late May. Mated females lay eggs under bark scales, either singly or in groups of two or three. Larvae feed under the bark in the phloem (the living tissue that transports nutrients in the tree) and the cambium (the actively dividing cells that produce phloem toward the outside and wood toward the inside) and form extensive networks of wide irregular tunnels. The sapwood is lightly scored. Trees attacked by the beetle produce resin, which flows down the trunk. The amount of resin flow can be very high and likely depends on the attack rate and the number of years of attack. Larvae overwinter and when fully grown, they make a distinctive hook-like pupal cell in either the sapwood or bark tissue. The adult emerges from the tree the following spring or summer through a 4-mm exit hole (Smith and Humble 2001; Sweeney et al. 2001).

Red spruce mortality in Point Pleasant Park, Halifax, NS, 1998. (*Above*) Pitch weeping down the trunk of a red spruce is a typical symptom. (*Left*) Male brown spruce longhorn beetle (average length 1–1.5 cm).

The Halifax discovery is the first of this European woodboring beetle in North America (Smith and Hurley 2000). The Canadian Food Inspection Agency, through its pest risk assessment process, identified brown spruce longhorn beetle as a pest of plant quarantine significance under the terms of the Plant Protection Act. Though it is considered a secondary pest in Europe, attacking only stressed and dying trees, it attacks healthy trees in Canada (CFIA 2000). Pest behavior is due to the lack of natural controlling factors or combination of factors, such as predators, parasites, or disease or the new hosts encountered cannot repel their attacks. Little is known of how quickly the beetle can kill trees because it is difficult to determine the first year of attack. Many variables will determine tree decline and eventual death. Mortality may occur as soon as 2–3 years or as long as 5 years after infestation.



Spruce forests are at most risk of attack. Preliminary data show that balsam fir, tamarack, and pine species are not preferred by the beetle (Sweeney and Smith 2002). Red spruce forests appear more sensitive than other spruce. However, if brown spruce longhorn beetle were to reproduce in stands with a greater component of other spruce species, such as white spruce, there are serious implications for spread across the ecozone and the adjacent forests of the Boreal Ecozone.

et al. 1979). Beech, because of its great regenerative capacity through sprouting, has managed to reestablish itself in stands, but productivity is severely stunted and deformed by the disease such that the beech component of broadleaf forests will never return to its former ecological prominence.

Balsam woolly adelgid, a European insect first found in the Maritimes in 1908, now covers more than 10 million ha across the Maritimes, eastern Quebec, and Newfoundland and Labrador. Tree mortality, dead tops, growth loss, and degraded wood quality are significant effects. Recently, its impact has been limited to coastal areas, but forest managers in southern New Brunswick and Nova Scotia have detected increased tree mortality and impacts on aesthetic value for Christmas tree growers due to localized significant population increases (Carter 2002; Georgeson 2002). Minimum winter temperatures regulate winter survival of the insect and recent warmer winters have allowed population increases in Nova Scotia (Georgeson 2002).

Gypsy moth, first detected in Canada at locations in the Atlantic Maritime Ecozone in 1924 in the Eastern Townships (Martineau 1984) and in 1936 in New Brunswick, was considered eradicated until confirmation of reestablishment in 1959 in southern Quebec and in 1981 in southwestern New Brunswick. Over the past few years, gypsy moth has defoliated mainly oaks and birches in the Grand Lake area of south-central New Brunswick (Carter 2002). If this insect continues to spread within the ecozone, it will have significant forest health implications.

In recent years, other introduced forest pests have been discovered within the ecozone: butternut canker, caused by the fungus *Sirococcus clavigignenti-juglandacearum*, in 1995 (Ministere des Ressources naturelles 1997; Harrison et al.1998); the pine shoot beetle in 1998 in the Eastern Townships; and the brown spruce longhorn beetle in 1999 in Halifax (Smith and Hurley 2000). The butternut canker was discussed in the 1998 report *Forest Health in Canada: An Overview 1998* (CFS 1999a). It continues to be a concern within the ecozone and is now under assessment by the Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada.

Brown spruce longhorn beetle is a European native that was found in dying red spruce trees in Halifax Regional Municipality, Nova Scotia, in 1999 (Smith and Hurley 2000). Other species attacked included white and black spruce. The beetle is believed to have entered the region through the port area in wood packing materials or dunnage. The Canadian Food Inspection Agency restricted the movement of potentially infested wood by declaring a quarantine zone. Currently, the agency is leading a survey and eradication program with the collaboration of federal and provincial agencies.

The blueberry maggot, previously present in the Maritime provinces, was introduced in southern Quebec in 1996. It is found locally in the Gaspé peninsula. Though it is an agricultural pest, it can damage forest ecosystems as it lives on numerous forest plants and shrubs: cranberries, wintergreen, black chokeberry, oblongfruit serviceberry, and Canadian bunchberry. The blueberry maggot is a serious threat to forest biodiversity (DesRochers and Proulx 2001).

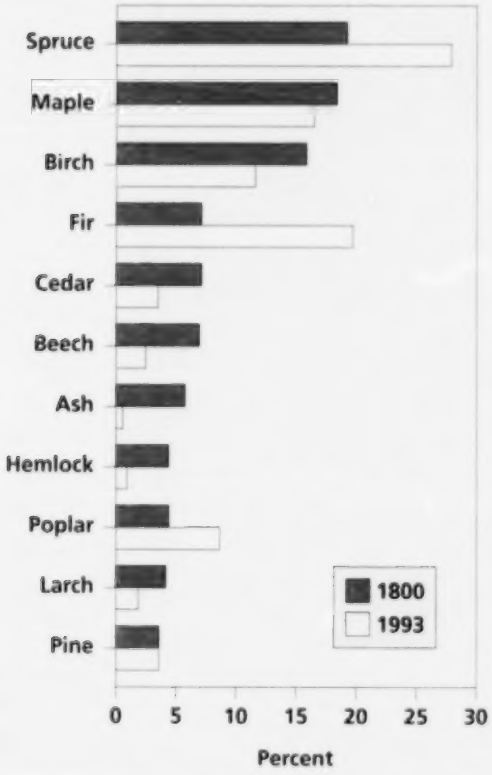
Impacts of Land Use

The impacts of land use on forest structure and composition have been widespread within this ecozone. Conversion of forest land to agriculture and forestry activities, including harvesting, have caused the greatest long-lasting impact. Much of the richest forest land has been cleared for agriculture, and flood plains have been permanently flooded as a result of dam construction. For example, only 0.8% of the area suitable for the tolerant sugar maple–beech forest in the upper Saint John River valley remains this type of forest today (MacDougall and Loo 1998). Where these forests have escaped conversion to agricultural pursuits, generations of selective harvesting have changed their structure and composition. Bur oak, in flood plains, is one species at risk of being lost (McPhee 2001). It

Typical open-grown bur oak in the lower reaches of the Saint John River valley, New Brunswick.

is a species of concern of the multistakeholder New Brunswick Gene Conservation Working Group. The Working Group states that gene conservation measures are required to ensure the integrity of the native gene pool. The range and frequency of the species have decreased substantially and the preferred habitat of the species remains in high demand for other uses. Bur oak has been extirpated along the upper Saint John River (above Fredericton) and nearly so along the lower Saint John River (below Lower Gagetown).

A study of presettlement forests in southern New Brunswick indicated a substantial shift from tolerant broadleaf to balsam fir, spruce, and poplar (Lutz 1997; Betts and Loo 2002). In particular, beech experienced a dramatic decline and birch and maple declined to approximately two-thirds of their frequency 200 years ago, whereas balsam fir and poplar more than tripled their frequency during the same period. In general, the distribution of species was more even 200 years ago than today.



Tree species composition of southern New Brunswick forest in 1800 before European colonization and in 1993.

Harvesting was carried out by selective removal of most desired species for the first 150 years of European settlement. During the past 50 years, harvesting has been carried out commonly by clear-cutting. The overall effect has been to reduce the proportion of hemlock, pine, and red spruce, and tolerant broadleaf trees, while increasing balsam fir and black spruce. Until the forest industry switched from a lumber focus to pulp around 1930, only large trees were in demand, but because of changing technology and a greater emphasis on pulp, the average size of harvested trees has decreased (Loo and Ives 2003). Few large trees remain in softwood forests of the ecozone. The part of the ecozone located in Quebec contains 72 exceptional forests (shelter, rare, and old-growth forests), for a total of 9200 ha. To protect the unique characteristics of these forests, 33 of these (6350 ha) are protected by the *Forest Act*, enacted in December 2002 (Ministère des Ressources naturelles 2003; Parent 2002d).

Atmospheric Environment

Impacts of Air Pollution

Monitoring and research undertaken in and around the Fundy Model Forest illustrate the potential cumulative impact of air pollution on Maritime forest ecosystems (Percy et al. 2002b). Fundy National Park regularly receives significant deposition of long-range transported acids. Ozone concentrations in the Fundy area exceed the allowable Canada-wide Standards[2] for ozone above which adverse impacts on vegetation are assumed to occur (Percy et al. 2002b). Ozone is expected to become a greater threat to global, national, and regional forest health (Percy et al. 2003a).

One direct effect of exposure to prevailing levels of ozone, at least on the most widely distributed Canadian tree species (trembling aspen), is increased activity of major defoliating insects and several important diseases (Percy et al. 2002a; Percy et al. 2003b). The combined impact of deterioration in air quality and predicted climate warming may exacerbate the impact on essential cycles (McLaughlin and Percy 1999; Karnosky et al. 2003).

There are no integrated ecological research studies in the ecozone that examine essential cycles in the context of the atmospheric environment in which the forests are growing. Hence, two prominent tree species sensitive to acid deposition (red spruce and mountain paper birch) and ozone (mountain paper

[2] See http://www.ec.gc.ca/CEPARegistry/agreements/cws.cfm for information on Canada-wide Standards.

Mapping Forest Sensitivity to Atmospheric S and N Deposition

The New England Governors and Eastern Canadian Premiers (NEG/ECP) Conference of 1997 recognized that acidic deposition was a joint concern that required a regional approach to research and strategic action. An Acid Rain Action Plan was approved in late 1999. Among the several recommendations for specific action was the formation of a Forest Mapping Working Group whose goal was to determine forest sensitivity to acidifying sulfur (S) and nitrogen (N) pollutants for upland forests in northeastern North America and to relate this sensitivity to potential loss of forest productivity and subsequent economic implications to the region's forest sector (NEG/ECP 2002).

The objective of the Forest Mapping Project is to create maps of the forests in the NEG/ECP region that will identify the regions and forest species most at risk from acid deposition. The mapping process includes gathering soil information, inventorying specific tree species, and evaluating impacts of forestry practices. The maps will eventually show predicted sensitivity of trees to acidic deposition (for example, the areas that show unacceptably low levels of nutrients due to acid rain) and the resultant impacts on forest sustainability (Arp et al. 2001).

The first of two phases is now complete. The first phase (set-up phase) was a pilot exercise to produce preliminary maps based on data from specific sites for two jurisdictions (Newfoundland and Labrador and Vermont). The preliminary maps for Newfoundland and Labrador showed that all forested areas in the province are currently sustainable (no exceedances were mapped) (NEG/ECP 2002). Additional soils data are being compiled to improve the quality of the maps. This first phase will permit the fine-tuning of the methodology for implementing the second phase. The second phase (operational phase) is under way and will assess forest sensitivity for the whole region.

birch) and one indicator of change, crown condition, have been used to indicate impacts.

Research indicates a direct causal relationship between deteriorating air quality (increased ozone and acid loading) and increased mountain paper birch mortality. Monitoring data also suggest a secondary, predisposing influence of acid fog on resistance of mountain paper birch to disease (Cox et al. 1996). Risk to forest health and sustainability posed by air pollutants such as ozone, acid deposition, and acid fog deposition is being assessed with spatial deposition models. Note that this decline is different from the birch decline observed in the 1940s.

Potential Impacts of Climate Change

Climate warming as a result of greenhouse gas emissions could result in seasonal changes, variable climate, and more extreme weather (CFS 1999c), which would have a greater effect on the forests of this ecozone than would a small increase in mean temperature. This resulting instability may cause more storms and, in turn, increase the risk of large-scale blowdown in forests. Other ecological changes related to climate change may include (CFS 1999c):

- Increase in tree growth rates due to longer growing seasons and warmer soil conditions. At risk might be some broadleaf species if there is a refreezing after buds and roots have initially thawed.
- Changes in seasonality, which could affect the timing of plant development and the competition among plants, thus changing plant populations and ecological relationships.
- Carbon sink–source relationships. Carbon loss in the mature forest may result from increased decomposition rates in the soil and increased natural forest disturbances. The young forest may not be as effective as a carbon sink under air pollution deposition.
- Increase in fire hazard as a result of increases in other disturbances such as blowdown and insect infestations, which affect the amount of fuel in the forest.

- Higher minimum temperatures. This would result in greater survival of native insects at the northern limits of their ranges, thus increasing their damage potential to the forest. A warming climate would likely increase the number of species of invasive forest pests and enhance their potential to establish in this ecozone.
- Climate-related decline. With a warmer climate, winter thaws would be expected to last longer, thus allowing more time for dehardening of roots which results in damage to those roots at time of refreezing. Consequently, forest growth would decline and dieback would occur, especially in certain broadleaf species.

Large-scale decline in the health of birches has been occurring in parts of the ecozone during the last 60 years, a trend that is even more marked over the last 30 years (Cox and Malcolm 1997). Research on yellow birch saplings and observations on mature trees suggest that winter thaws and late frosts have contributed largely to this dieback (Zhu et al. 2000; Zhu et al. 2002; Cox and Zhu 2003). The frequency of significant thaw/freeze events has increased over the range of yellow birch. Climate change is expected to increase frequency and duration of these damaging winter thaws. Dieback and decline of these northern adapted broadleaf trees may worsen. Studies are under way to assess the cumulative impact of continuing inputs of acid rain, ozone episodes, and the presence of mercury in fog on birch dieback and the health of other species.

1998 Ice Storm

One of the major widespread climatic events with far-reaching impacts on the forests of southeastern Canada was the 1998 ice storm. Overall, the Atlantic Maritime Ecozone was relatively mildly affected. However, the forests of the southwestern portion of the ecozone were seriously damaged. In heavily affected areas (those areas receiving up to 110 mm of freezing rain), trees are still declining and dying. Overall, over 70% of trees that had 80% or more of their crown lost due to the storm are dying or dead (B. Boulet, Ministère des Ressources naturelles, Québec City, QC, personal communication, and F. Raulier, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Laurentian Forestry Centre, Sainte-Foy, QC, personal communication). Relatively minor tree mortality occurred in forests that received less than 40 mm of freezing rain.

Climate change is predicted to cause more frequent extreme weather similar to the 1998 ice storm. During the winter of 2002–03, an ice storm caused significant damage in southeastern New Brunswick and in northern Nova Scotia. Although this storm did not match the scale or intensity of the 1998 storm, maple sugar producers are anticipating a drop in sap production in 2004 as one consequence. Experience from the 1998 ice storm in Quebec shows that the impact on sap production is quite variable and is linked to the pre-storm condition of the sap-collecting system as much as to the storm damage itself (G. Allard, Centre ACER, Saint-Hyacinthe, QC, personal communication).

Appendix 1

Major Forest Ecosystems of the Atlantic Maritime Ecozone

The Atlantic Maritime Ecozone includes the Maritime provinces, the Gaspé, and the Eastern Townships of Quebec. It occupies 20.4 million ha with 16 million ha of forest. The largely urban population exceeds 2.6 million people. Prince Edward Island is almost entirely privately owned (about 90%), and the largest holdings cannot exceed 1214 ha, by law. Just over half of the province's land is currently used for agriculture. Nova Scotia is approximately 75% privately owned; almost half of the province is in small private holdings. Nearly 75% of the province's land base is forested. Forest land in New Brunswick is divided almost evenly between crown-owned and private, with about two-thirds of the private land in small holdings. The province is 90% forested. In Quebec, the percentage of public land varies from 7% in the Eastern Townships to 79% in the Gaspé peninsula. As well, forest covers 75% and 95%, respectively, of these two regions.

Tolerant Broadleaf Trees—Nutrient-Rich Soils

This forest type can be subdivided into upland and bottomland subtypes. The upland rich tolerant broadleaf consists of sugar maple, yellow birch, American beech, white ash, and ironwood, species commonly found in association with basswood and butternut within their range, excluding Prince Edward Island and Nova Scotia. In New Brunswick and Quebec, basswood and butternut are characteristic species of rich upland broadleaf forests. Bottomland rich broadleaf is found on flood plains and depending on location in the region is characterized by silver maple, white elm, bur oak, red maple, red and black ash, and sometimes balsam poplar. In Quebec, this forest type is more generally known as the basswood–maple ecological domain.

Tolerant Broadleaf Trees—Upper Slopes and Ridges

Tolerant broadleaf trees occupying upper slopes and ridge tops differ from the upland rich tolerant broadleaf trees because the soil is not as productive and the sites are more exposed on the ridge tops. Common species include American beech, sugar maple, yellow birch, white ash, and ironwood. In Quebec, this forest type is similar to the yellow birch–maple domain.

Mixedwood Forests—Upland

Composition varies in different areas of the ecozone, but sugar maple, yellow birch, red spruce, and American beech are components of late successional mixedwood forest. Scattered uplands throughout the region include balsam fir. Lower elevation, mixedwood areas typically include eastern white pine and eastern hemlock. Areas with calcareous soil are characterized by eastern white-cedar as well. White spruce and red maple are found in some areas. In Quebec, this forest type is similar to the yellow birch–fir domain.

Mixedwood Forests—Fire-originated

This mixedwood forest type is fire-dependent. It occurs in much of the ecozone, except Nova Scotia, and consists largely of jack pine, trembling aspen, and black spruce, commonly in association with red maple, white birch, gray birch, and balsam fir. On scattered dry, well-drained sites it is characterized by eastern white pine, red oak, and red pine. In Quebec, on the less favorable sites, this forest type is similar to the white birch–fir domain.

Mixedwood Forests—Wetland Soils

This forest type is characterized by eastern white-cedar, black ash, and red maple, sometimes in association with black spruce as a minor component. It occurs in scattered patches where calcareous parent material has weathered to produce relatively alkaline soil combined with poor drainage.

Softwood Forests—Wetlands

This softwood forest type consists of black spruce and tamarack, with minor components of red maple,

balsam fir, and gray birch. It generally occupies acidic peat soils and is found in scattered patches often surrounding peat bogs in lowland areas throughout the region.

Softwood Forests—Coastal

The Atlantic Maritime Ecozone includes many kilometres of coastline. Much of this coast is characterized by white spruce and balsam fir. Red spruce tends to replace white spruce along the Bay of Fundy coast in southern New Brunswick and northern Nova Scotia. White birch and red maple are minor components throughout this coastal forest type.

Softwood Forests—Highland

This highland softwood forest type consists of balsam fir, black spruce, white spruce, and a scattering of white birch. At the highest elevations, a windblown, stunted scrub subtype predominates, with American mountain-ash included as a component of the forest. In Quebec, on the most favorable sites, this forest type is similar to the white birch–fir domain.

Softwood Forests—Lowland

In the western third of Nova Scotia, this lowland softwood forest type consists of red spruce, eastern white pine, and eastern hemlock in association with a minor component of tolerant broadleaf trees. Elsewhere in the ecozone, in addition to these species, balsam fir constitutes a significant component, along with lesser amounts of black spruce, white spruce, tamarack, and eastern white-cedar.

Appendix 2

Common and Scientific Names of Organisms

American beech, *Fagus grandifolia*

American mountain-ash, *Sorbus americana*

aspen serpentine leafminer, *Phyllocnistis populiella*

balsam fir, *Abies balsamea*

balsam fir sawfly, *Neodiprion abietis*

balsam poplar, *Populus balsamifera*

balsam twig aphid, *Mindarus abietinus*

balsam woolly adelgid, *Adelges piceae*

basswood, *Tilia americana*

beech bark disease, caused by the fungus *Nectria coccinea* var. *faginata*

beech scale, *Cryptococcus fagisuga*

black ash, *Fraxinus nigra*

black chokeberry, *Photinia melanocarpa*

black spruce, *Picea mariana*

blueberry maggot, *Rhagoletis mendax*

brown spruce longhorn beetle, *Tetropium fuscum*

bur oak, *Quercus macrocarpa*

butternut, *Juglans cinerea*

butternut canker, caused by the fungus *Sirococcus clavigignenti-juglandacearum*

Canadian bunchberry, *Cornus canadensis*

cranberry, *Vaccinium macrocarpon*

Dutch elm disease, caused by the fungus *Ophiostoma ulmi*

eastern hemlock, *Tsuga canadensis*

eastern larch beetle, *Dendroctonus simplex*

eastern white-cedar, *Thuja occidentalis*

eastern white pine, *Pinus strobus*

European spruce sawfly, *Gilpinia hercyniae*

forest tent caterpillar, *Malacosoma disstria*

gray birch, *Betula populifolia*

gypsy moth (European race), *Lymantria dispar*

hemlock looper, *Lambdina fiscellaria fiscellaria*

ironwood, *Ostrya virginiana*

jack pine, *Pinus banksiana*

large aspen tortrix, *Choristoneura conflictana*

mountain paper birch, *Betula cordifolia*

Nectria canker, caused by the fungus *Nectria galligena*

Norway spruce, *Picea abies*

oblongfruit serviceberry, *Amelanchier bartramiana*

pine shoot beetle, *Tomicus piniperda*

red ash, *Fraxinus pennsylvanica*

red maple, *Acer rubrum*

red oak, *Quercus rubra*

red pine, *Pinus resinosa*

red spruce, *Picea rubens*

scleroderris canker, caused by the fungus *Gremmeniella abietina*

seedling debarking weevil, *Hylobius congener*

silver maple, *Acer saccharinum*

spruce beetle, *Dendroctonus rufipennis*

spruce budworm, *Choristoneura fumiferana*

sugar maple, *Acer saccharum*

tamarack, *Larix laricina*

trembling aspen, *Populus tremuloides*

white ash, *Fraxinus americana*

white birch, *Betula papyrifera*

white elm, *Ulmus americana*

whitemarked tussock moth, *Orgyia leucostigma leucostigma*

white pine blister rust, caused by the fungus *Cronartium ribicola*

white pine weevil, *Pissodes strobi*

white spruce, *Picea glauca*

wintergreen, *Gaultheria procumbens*

yellow birch, *Betula alleghaniensis*

yellowheaded spruce sawfly, *Pikonema alaskensis*

References

Arp, P.A.; Leger, W.; Moayeri, M.H.; Hurley, J.E. 2001. Methods for mapping forest sensitivity to acid deposition for northeastern North America. Ecosyst. Health 7(1):35–47.

Betts, M.; Loo, J. 2002. A comparison of pre-European settlement forest characterization methodologies. For. Chron. 78(3):422-432.

Blais, J.R. 1983. Trends in the frequency, extent, and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada. Can. J. For. Res. 13: 539–547.

(CCFM) Canadian Council of Forest Ministers. 2000. Criteria and indicators of sustainable forest management in Canada. National Status 2000. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Ottawa, ON. 122 p.

(CFIA) Canadian Food Inspection Agency. 2000. Pest risk assessment summary: brown spruce longhorn beetle. http://www.inspection.gc.ca/english/sci/surv/bslb/sumsome.shtml (last modified July 01, 2000)

(CFS) Canadian Forest Service, Natural Resources Canada. 1999a. Forest health in Canada: An overview 1998. Atlantic Forestry Centre, Fredericton, NB. 60 p.

(CFS) Canadian Forest Service, Natural Resources Canada. 1999b. Alien forest pests: Context for the Canadian Forest Service's science program [print and online]. Science Branch. Ottawa, ON. 16 p. http://www.nrcan.gc.ca/cfs/proj/sci-tech/context_pests/mainpage_e.html

(CFS) Canadian Forest Service, Natural Resources Canada. 1999c. Climate change and forests: Context for the Canadian Forest Service's science program [print and online]. Science Branch. Ottawa, ON. 14 p. http://www.nrcan.gc.ca/cfs-scf/science/context_climate/index_e.html

Carter, N.E. 2000. Status of forest pests in New Brunswick in 1999. New Brunswick Department of Natural Resources and Energy, Forest Pest Management, Fredericton, NB.

Carter, N.E. 2001. Status of forest pests in New Brunswick in 2000. New Brunswick Department of Natural Resources and Energy, Forest Pest Management, Fredericton, NB.

Carter, N.E. 2002. Status of forest pests in New Brunswick in 2001. New Brunswick Department of Natural Resources and Energy, Forest Pest Management, Fredericton, NB.

Cox, R.M.; Lemieux, G.; Lodin, M.1996. The assessment and condition of Fundy white birches in relation to ambient exposure to acid marine fogs. Can. J. For. Res. 26:682–688.

Cox, R.M.; Malcolm, J.W. 1997. Effects of duration of a simulated winter thaw on dieback and xylem conductivity of *Betula papyrifera*. Tree Physiol. 17:389–396.

Cox, R.M.; Zhu, X.B. 2003. Effects of simulated thaw on xylem cavitation, residual embolism, spring dieback and shoot growth in yellow birch. Tree Physiol. 23:615–624.

DesRochers, P.; Proulx, Y. 2001. Le danger des ravageurs exotiques pour les forêts de l'est du Canada. PowerPoint presentation, February 2001. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Laurentian Forestry Centre, Sainte-Foy, QC.

Ecological Stratification Working Group. 1996. A national ecological framework for Canada [print and online]. Agriculture and Agri-Food Canada, Research Branch, Ottawa, ON/Environment Canada, Ecozone Analysis Branch, Hull, QC. http://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/ecostrat/intro.html

(FAO) Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2001. Global mapping. Pages 321–323 (Chapter 47) *in* Global forest resources assessment [print and online]. Main Rep. FAO Forestry Pap.140. FAO, Rome, Italy. http://www.fao.org/forestry/fo/fra/main/index.jsp?lang_id=1

Frontline Express. Forest Tent Caterpillar. 2001. Bulletin No. 9 [print and online]. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Great Lakes Forestry Centre, Sault Ste. Marie, ON. http://www.glfc.forestry.ca/frontline/bulletins/bulletin_no.9_e.html

Georgeson, E. 2002. Preliminary report on the status of some Nova Scotia forest pests. Nova Scotia Department of Natural Resources, Integrated Pest Management Section. Forest Pest Management Forum, Ottawa, ON, 13–15 November 2002.

Glen, W.M. 1997. Prince Edward Island 1935/1936 Forest Cover Type Mapping. Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry, Silviculture Development Section, Forestry Division, Charlottetown, PE. 13 p.

Hall, J.P.; Magasi, L.P.; Carlson, L.; Stolte, K.; Niebla, E.; de Bauer, M.; Gonzalez-Vincente, C.E.; Hernandez-Tejeda, T. 1996. Health of North American forests. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Ottawa, ON. 66 p. (Text in English, French, and Spanish.)

Hall, J.P.; Moody, B.H., compilers. 1994. Forest depletions caused by insects and diseases in Canada 1982–1987. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Inf. Rep. ST-X-8. Ottawa, ON. 14 p.

Harrison, K.J.; Hurley, J.E.; Ostry, M.E. 1998. First report of butternut canker caused by *Sirococcus clavigignenti-juglandacearum* in New Brunswick, Canada. Plant Dis. 82:1282.

Houston, D.R. 1983. American beech resistance to *Cryptococcus fagisuga*. In Proceedings of IUFRO Beech Bark Disease Working Party Conference, 26 Sept.–8 Oct. 1982, Hamden, CT. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. WO-37.

Houston, D.R. 1994. Temporal and spatial shift within the *Nectria* pathogen complex associated with beech bark disease of *Fagus grandifolia*. Can. J. For. Res. 24:960–968.

Houston, D.R.; Parker, E.J.; Perrin, R.; Lang, K.J. 1979. Beech bark disease: A comparison of the disease in North America, Great Britain, France and Germany. Eur. J. For. Pathol. 9:199–211.

Hurley, J.E.; Magasi, L.P., editors.1995. Forest pest conditions in the Maritimes in 1994. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Fredericton, NB. Inf. Rep. M-X-194.

Hurley, J.E.; Magasi, L.P., editors.1996. Forest pest conditions in the Maritimes in 1995. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Fredericton, NB. Inf. Rep. M-X-199.

Johnson, R.S. 1986. Forests of Nova Scotia: A history. Nova Scotia Department of Lands and Forests and Four East Publications, Halifax, NS. 407 p.

Karnosky, D.F.; Percy, K.E.; Thakur, R.C.; Honrath, R.E. Jr . 2003. Air pollution and global change: a double challenge to forest ecosystems. *In* D.F. Karnosky, K.E. Percy, A.H. Chappelka, J. Pikkarainen, and C.J. Simpson, eds. Proceedings of IUFRO Conference on Air Pollution, Global Change and Forests in the New Millennium, Houghton, MI, 28–31 May 2000. Elsevier, Oxford. (In Press)

Loo, J.; Ives, N. 2003. The Acadian Forest: Historical condition and human impacts. For. Chron. 79(3):462–474.

Lorimer, C.G. 1977. The presettlement forest and natural disturbance cycle of northeastern Maine. Ecology 58:139–148.

Lortie, M. 1979. Arbres, forêts et perturbations naturelles au Québec. Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, QC. 172 p.

Loucks, O.L. 1962. A forest classification for the Maritime Provinces. Proc. NS Inst. Sci. 25(2): 85–167 (+ map).

Lutz, S.G. 1997. Pre-European settlement and present forest composition in King's County, New Brunswick, Canada. M.Sc. For. thesis, Univ. New Brunswick, Fredericton, NB. 48 p.

MacDougall, A.; Loo, J. 1998. Natural history of the Saint John River Valley Hardwood Forest of western New Brunswick and northeastern Maine. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Atlantic Forestry Centre, Fredericton, NB. Inf. Rep. M-X-204E. 62 p.

MacKinnon, W. 1997. The spruce budworm on PEI—a collection of data over 44 years 1953–1996. Unpublished. Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry, Charlottetown, PE.

Martineau, R. 1984. Insects harmful to forest trees. Multiscience Publications Limited and the Canadian Forestry Service, Environment Canada and the Canadian Government Publishing Centre, Supply and Services Canada. Forestry Technical Report 32. 261 p.

McLaughlin, S.B.; Percy, K.E. 1999. Forest health in North America: Some perspectives on actual and potential roles of climate and air pollution. Water Air Soil Pollut. 116:151–197.

McPhee, D.A. 2001. Status description for bur oak, *Quercus macrocarpa*, in the Province of New Brunswick. M.Sc. For. thesis., Univ. New Brunswick, Fredericton, NB.

Ministère des Forêts and Forêts Canada. 1991. Insectes et maladies des arbres Québec 1990. Service de la protection contre les insectes et les maladies et Centre de foresterie des Laurentides. Québec City, QC. 34 p.

Ministère des Ressources naturelles, de la faune et des parcs. 2003. Liste des écosystèmes forestiers exceptionnels classés en décembre 2002 [online]. Gouvernement du Québec, Québec City, QC. http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-ecosystemes-liste.jsp

Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts. 1997. Insectes et maladies des arbres Québec 1996. Gouvernement du Québec, Québec City, QC. 35 p.

Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts. 2002a. Insectes et maladies des arbres/Portrait statistique/Plantations [online]. Gouvernement du Québec, Québec City, QC. http://www.mrn.gouv.qc.ca/fimaq/ima/in_stat.asp

Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts. 2002b. Insectes et maladies des arbres/Portrait statistique/Forêts naturelles [online]. Gouvernement du Québec, Québec City, QC. http://www.mrn.gouv.qc.ca/fimaq/ima/for_nat.asp

(NEG/ECP) New England Governors and Eastern Canadian Premiers. 2002. Report to New England Governors and Eastern Canadian Premiers on Acid Rain Projects. 27th Annual Conference of the New England Governors and Eastern Canadian Premiers, Québec City, QC, 25–27 August 2002.

Parent, B. 2002a. Ressources et industries forestières, portrait statistique édition 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la faune et des parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Chapitre 1, Portrait géographique du Québec forestier, 29 p. http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp

Parent, B. 2002b. Ressources et industries forestières, portrait statistique édition 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la faune et des parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Chapitre 2, Zone d'inventaire intensif, 18 p. http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp

Parent, B. 2002c. Ressources et industries forestières, portrait statistique édition 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la faune et des parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Chapitre 3, Protection des forêts québécoises, 24 p. http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp

Parent, B. 2002d. Ressources et industries forestières, portrait statistique édition 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la faune et des parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Chapitre 4, Développement durable des forêts du Québec, 10 p. http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp

Parent, B. 2002e. Ressources et industries forestières, portrait statistique édition 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la faune et des parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Chapitre 5, Aménagement forestier, 141 p. http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp

Percy, K.E.; Awmack, C.S.; Lindroth, R.L.; Kubiske, M.E.; Kopper, B.J.; Isebrands, J.G.; Pregitzer, K.S.; Hendrey, G.R.; Dickson, R.E.; Zak, D.R.; Oksanen, E.; Sober, J.; Harrington, R.; Karnosky, D.F. 2002a. Altered performance of forest pests under atmospheres enriched by CO_2 and O_3. Nature 420:403–407.

Percy, K.E.; Hurley, J.E.; Cox, R.M.; Dann, T. 2002b. Air quality and tree condition within the Fundy Model Forest. Pages 101–107 *in* Fundy Model Forest Report on the Status of Local Level Indicators of Sustainable Forest Management Phase II 1997–2002. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Fredericton, NB. 209 p.

Percy, K.E.; Legge, A.H.; Krupa, S.V. 2003a. Tropospheric ozone: A continuing threat to global forests? *In* D.F. Karnosky, K.E. Percy, A.H. Chappelka, J. Pikkarainen, and C.J. Simpson, eds. Proceedings of IUFRO Conference on Air Pollution, Global Change and Forests in the New Millennium, Houghton, MI, 28–31 May 2000. Elsevier, Oxford.

Percy, K.E.; Mankovska, B.; Hopkin, A.; Callan, B.; Karnosky, D.F. 2003b. Ozone affects leaf surface pest interactions. In D.F. Karnosky, K.E. Percy, A.H. Chappelka, J. Pikkarainen, and C.J. Simpson, eds. Proceedings of IUFRO Conference on Air Pollution, Global Change and Forests in the New Millennium, Houghton, MI, 28–31 May 2000. Elsevier, Oxford.

Perley, M. 1847. Report on the forest trees of New Brunswick. Simmonds's Colonial Magazine. Vol. XI, No. 42. p.129–155, 314–324, 412–429 [online]. Toronto, ON. http://www.nla.gov.au/ferg/issn/14606011.html

Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry. 2003. State of the Forest Report 1990–2000, Planning for the Future. December 2002. Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry, Forestry and Land Resource Modeling Division, Charlottetown, PE. 49 p.

Smith, G.A.; Humble, L.M. 2001. The brown spruce longhorn beetle. Exotic Forest Pest Advisory 5. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC. 4 p.

Smith, G.; Hurley, J.E. 2000. First North American record of Palearctic species *Tetropium fuscum* (Fabricius) (Coleoptera: Cerambycidae). Coleopt. Bull. 54: 540.

Sobey, D. 2002. Early descriptions of the forests of Prince Edward Island: A source-book. Part 1: The French period — 1534–1758. Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry, Charlottetown, PE. 180 p.

Sterner, T.E.; Davidson, A.G., compilers. 1982. Forest insect and disease conditions in Canada 1981. Environment Canada, Canadian Forestry Service, Hull, QC. 46 p.

Sweeney, J., Smith, G. 2002. Host preference of the brown spruce longhorned beetle, *Tetropium fuscum* (Fabr.) on selected North American conifers (poster abstract). Page 94 *in* Sandra L.C. Fosbroke and Kurt W. Gottschalk, eds. Proceedings USDA interagency Research Forum on Gypsy Moth and Other Invasive Species 2002, 15–18 January 2002, Annapolis, MD. USDA Gen. Tech. Rep. NE-300.

Sweeney, J.; Smith, G.; Hurley, J.E.; Harrison, K.; de Groot, P.; Humble, L.; Allen, E. 2001. The brown spruce longhorn beetle in Halifax: Pest status and preliminary results of research. Pages 6–10 *in* Sandra L.C. Fosbroke and Kurt W. Gottschalk, eds. Proceedings USDA Interagency Research Forum on Gypsy Moth and Other Invasive Species 2001, 16–19 January 2001, Annapolis, MD. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-285.

Tubbs, C.H.; Houston, D.R. 1990. *Fagus grandifolia* Ehrh. American Beech. Pages 325–332 *in* R.M. Burns and B.H. Honkala, eds. Silvics of North America Volume 2, Hardwoods. Agriculture Handbook 654. USDA For. Serv. Washington, DC.

Wilcove, D.S.; Rothstein, D.; Dubow, J.; Phillips, A.; Losos, E. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States: assessing the relative importance of habitat destruction, alien species, pollution, overexploitation, and disease. BioScience 48(8):607–615.

Zhu, X.B.; Cox, R.M.; Arp, P.A. 2000. Effects of xylem cavitation and freezing injury on dieback of yellow birch (*Betula alleghaniensis*) in relation to a simulated winter thaw. Tree Physiol. 20:541–547.

Zhu, X.B.; Cox, R.M.; Bourque, C.P.A.; Arp, P.A. 2002. Thaw effects on cold-hardiness parameters in yellow birch. Can. J. Bot. 80:390–398.

L'État de santé des forêts au Canada

Écozone de l'Atlantique maritime

J. Edward Hurley,
Judy Loo,
Pierre DesRochers
et Harry Hirvonen

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Canada

Écozones terrestres du Canada

Écozones terrestres du Canada

L'État de santé des forêts au Canada

Écozone de l'Atlantique maritime

J. Edward Hurley, Judy Loo

Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts,

Centre de foresterie de l'Atlantique, Fredericton (Nouveau-Brunswick)

Pierre DesRochers

Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts,

Centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy (Québec)

Harry Hirvonen

Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts,

Direction générale des sciences, Ottawa (Ontario)

Publié par

Ressources naturelles Canada

Service canadien des forêts

Direction générale des sciences

Ottawa, 2004

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada 2004
ISBN 0-662-68240-8
N° de cat. Fo42-339/2004

Pour obtenir gratuitement des exemplaires de cette publication, prière de s'adresser à :
Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts
Ottawa (Ontario)
K1A 0E4

Téléphone : (613) 947-7341

Pour acheter un version sur microfiche ou des photocopies de cette publication, prière de s'adresser à :
Micromedia Proquest
20, rue Victoria
Toronto (Ontario)
M5C 2N8

Téléphone : (416) 362-5211, 1 800 387-2689

Révision et production : Denis Rochon
Conception et mise en page : Danielle Monette

Photographies

Couverture : Grassy Lake au nord du parc national Fundy au Nouveau-Brunswick; *image de fond*, fougères du parc national Fundy; photos de J. David Andrews.

Intérieur : Page 10, spécimen mâle du longicorne brun de l'épinette, communiqué gracieusement par Klaus Bolte de Ressources naturelles Canada (RNCan), Service canadien des forêts (SCF), Direction générale des sciences, Ottawa; toutes les autres photos ont été communiquées gracieusement par le Centre de foresterie de l'Atlantique de RNCan (SCF), à Fredericton au Nouveau-Brunswick.

Toutes les photographies © Sa Majesté la Reine du Chef du Canada.

Catalogage avant publication de la Bibliothèque nationale du Canada

Vedette principale au titre : L'État de santé des forêts au Canada, écozone de l'Atlantique maritime 2003
Texte en anglais et en français disposé tête-bêche

Titre de la p. de t. addit. : Forest health in Canada, Atlantic maritime ecozone 2003.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-662-68240-8
No de cat. Fo42-339/2004

1. Forêts – Santé – Provinces de l'Atlantique.
2. Écologie forestière – Provinces de l'Atlantique.
I. Hurley, J. Edward (John Edward), 1956-
II. Service canadien des forêts. Direction générale des sciences.
III. Titre : Forest health in Canada, Atlantic maritime ecozone 2003.

SB764.C3F67 2004 333.75'09715 C2004-980196-1F

Imprimé sur du papier recyclable
IMPRIMÉ AU CANADA
Imprimé sur du papier alcalin permanent

Table des matières

5 **Points saillants**

6 **Introduction**

6 **Principaux écosystèmes forestiers**
6 Écozone de l'Atlantique maritime

6 **État du paysage forestier**
7 Influences écologiques pré-industrielles
8 Influences écologiques actuelles

9 **Biodiversité**
9 Impact des espèces exotiques envahissantes
12 Impact de l'affectation des terres

13 **Environnement atmosphérique**
13 Impact de la pollution de l'air
14 Impact potentiel des changements climatiques
15 Tempête de verglas de 1998

17 **Annexe 1 :** Principaux écosystèmes forestiers de l'écozone de l'Atlantique maritime

19 **Annexe 2 :** Noms scientifiques des organismes

20 **Bibliographie**

Points saillants

- Les espèces exotiques envahissantes d'insectes et de maladies constituent une menace croissante pour la santé et la viabilité économique des écosystèmes forestiers dans cette écozone.
- Le longicorne brun de l'épinette, une espèce exotique envahissante découverte à Halifax en 1999, présente une menace pour l'intégrité écologique des écosystèmes forestiers à épinette ainsi que pour le commerce.
- Le noyer cendré subit les assauts d'une nouvelle maladie au potentiel dévastateur, et fait présentement l'objet d'une évaluation du Comité sur la situation des espèces en péril au Canada pour déterminer s'il y a lieu de le classer parmi les espèces en péril.
- Le grand hylésine des pins, espèce en provenance d'Asie introduite récemment en Amérique du Nord, a été retrouvé au Québec où il peut causer des dommages à tous les pins indigènes, ce qui pourrait entraîner des restrictions commerciales.
- La maladie corticale du hêtre, un complexe insecte/maladie introduit il y a 100 ans, entraîne la mort des arbres matures dans le Nord du Nouveau-Brunswick.
- La maladie hollandaise de l'orme et la rouille vésiculeuse du pin blanc sont des organismes nuisibles bien établis dont l'action néfaste pour la santé de l'orme d'Amérique et le pin blanc ne se dément pas.
- Les pratiques d'utilisation des terres des trois derniers siècles, y compris l'exploitation forestière, ont changé la composition des forêts. L'occurrence de certaines espèces arborescentes comme le chêne rouge au Québec et le chêne à gros fruits et le thuya occidental dans les Provinces maritimes, a ainsi connu une baisse radicale, tandis que d'autres, comme le sapin baumier, l'érable rouge et le peuplier faux-tremble, ont plutôt accru leur présence dans certaines parties de l'écozone.
- Il existe un lien causal direct entre la détérioration de la qualité de l'air (hausse des concentrations d'ozone et de la charge acide) et l'accroissement du dépérissement du bouleau à feuilles cordées, particulièrement le long de la baie de Fundy.
- Selon les prévisions, les changements climatiques feront augmenter les événements climatiques extrêmes, qui affecteront les forêts en provoquant notamment :
  - une augmentation des chablis
  - un accroissement des tempêtes de verglas
  - des dommages d'hiver provoqués par les dégels prolongés qui affaiblissent les arbres
  - une stimulation de la survie et de l'établissement de certains organismes exotiques envahissants en provenance du Sud.

Introduction

Le Canada s'est engagé à atteindre le développement durable. Pour faire suite à cet engagement, le Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF) a adopté des critères nationaux et des indicateurs connexes (qu'on appelle habituellement « C et I ») sur lesquels il s'appuie pour mesurer et faire connaître les progrès collectifs du pays sur la voie de l'aménagement durable des forêts (CCMF, 2000). Deux des critères du CCMF concernent le maintien de l'état sanitaire des forêts : la conservation de la diversité biologique et le maintien et l'amélioration de l'état de l'écosystème forestier. Le Service canadien des forêts (SCF) a reçu le mandat de faire rapport sur la santé des forêts canadiennes en collaboration avec ses partenaires et, en cas de modification de celle-ci, d'en déterminer la nature et la cause. Les rapports de synthèse sur la santé des forêts aident également le CCMF à mener à bien le processus de notification basé sur les critères et indicateurs.

Le SCF a publié son premier rapport de synthèse national sur la santé des forêts en 1999 (*L'État de santé des forêts au Canada : un sommaire 1998* [SCF, 1999a]), dans lequel les écozones forestières ont été utilisées comme cadre écologique pour l'établissement du portrait sanitaire des forêts. Il cherchera maintenant à produire une série de rapports, chacun orientés sur les grands problèmes sanitaires affectant les forêts d'une écozone particulière, ou encore deux ou trois écozones aux caractéristiques proches. Cette approche permettra d'analyser plus à fond les questions régionales. Un synopsis national sera réalisé quand le dernier rapport aura été publié.

Cette série de rapports sur la santé des forêts canadiennes vise un auditoire non technique. Un outil complet basé sur le Web est également en cours de réalisation pour diffuser les connaissances sur la santé des forêts. Les rapports sur les écozones y figureront, accompagnés d'information supplémentaire sous forme de liens vers des sujets non traités par les premiers.

Principaux écosystèmes forestiers

Le Canada comprend 15 écozones terrestres et 5 marines (Groupe de travail sur la stratification écologique, 1996). Ces écozones délimitent des secteurs écologiquement distincts de la surface terrestre. Chacune représente une combinaison distincte d'interactions entre les facteurs géologiques, climatiques, végétaux, fauniques et humains. Selon l'écozone, l'un ou l'autre de ces facteurs domine, ou encore une combinaison de plusieurs d'entre eux. De nombreux

En général, la forêt en santé est celle qui conserve sa biodiversité, sa résilience, ses habitats fauniques et son aspect esthétique, et dont les ressources sont exploitées durablement.

organismes fédéraux publient des études nationales basées sur les écozones terrestres, notamment le CCMF (dans le cas des critères et indicateurs), ainsi que quelques provinces et territoires. Sur le plan international, elles sont liées aux Régions écologiques de l'Amérique du Nord, mises au point par la Commission pour la coopération environnementale,[1] et aux zones écologiques mondiales de la FAO (FAO, 2001).

La majorité des forêts canadiennes se retrouvent dans neuf des écozones : maritime du Pacifique, cordillère montagnarde, cordillère boréale, taïga des plaines, plaines boréales, taïga du Bouclier, Bouclier boréal, plaines à forêts mixtes et maritime de l'Atlantique. Les écozones forestières comprennent parfois plusieurs grands types d'écosystèmes forestiers. Ces types forestiers sont utilisés comme point de référence dans l'analyse de la santé des forêts à l'intérieur de chaque écozone.

Écozone de l'Atlantique maritime

L'écozone de l'Atlantique maritime comprend neuf types forestiers principaux, formant un ensemble connu sous le nom de forêt acadienne : feuillus tolérants (sols riches); feuillus tolérants (crêtes et hauts de pentes); forêts mixtes (hautes terres); forêts mixtes (issues de l'incendie); forêts mixtes (sols humides); forêts conifériennes (terres humides); forêts conifériennes (côtières); forêts conifériennes (hautes terres); forêts conifériennes (basses terres) (Loo et Ives, 2003; Parent, 2002a; Parent, 2002b). Une brève description de chaque type forestier est donnée à l'annexe 1. Les noms scientifiques des organismes mentionnés dans le texte sont énumérés à l'annexe 2.

État du paysage forestier

Sur le plan historique, la forêt acadienne se caractérisait par un mélange d'essences comprenant

1 Un organisme international créé par le Canada, le Mexique et les États-Unis, dans le cadre de l'Accord nord-américain sur la coopération environnementale.

notamment l'épinette rouge, le hêtre à grandes feuilles, l'érable à sucre, le bouleau jaune, le sapin baumier et le pin blanc (Loucks, 1962). Les grandes perturbations naturelles comprenaient les insectes, les maladies et les manifestations du climat telles que les chablis. Les insectes et les maladies, particulièrement la tordeuse des bourgeons de l'épinette, demeurent un grand facteur écologique. Avant les activités humaines intensives, l'incendie de forêt jouait un rôle clé dans le développement de l'écosystème dans certaines parties de cette écozone. Après la colonisation, la fréquence des feux a augmenté, mais leur rôle a décliné après que la lutte contre l'incendie eut gagné en efficacité (Johnson, 1986). L'incidence des incendies a également diminué en raison de la fragmentation des forêts et de l'augmentation de la composante feuillue.

Dans la section suivante, le terme pré-industriel désigne la période qui a succédé aux explorations européennes et à la colonisation, mais qui a précédé le défrichement à grande échelle et l'urbanisation. On y examine les grands types forestiers de l'écozone en faisant une brève comparaison des influences naturelles de l'ère pré-industrielle et de celles qui s'exercent maintenant sur ces forêts. Dans ce dernier cas, on insiste sur le rôle des perturbations anthropiques directes et sur celles qui proviennent d'une altération des cycles de perturbations naturelles.

Influences écologiques pré-industrielles

Incendies

Le feu est apparu sporadiquement dans le développement des forêts et la succession forestière de cette écozone. Il a joué un rôle clé dans le remplacement des peuplements mixtes occupant les stations sèches et bien drainées. Divers pins, en association avec le peuplier faux-tremble, le bouleau à papier, l'érable rouge et le chêne rouge, caractérisaient ces forêts mixtes incendiées (Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2003). Mais les incendies provoquant le remplacement des peuplements sur de grandes superficies étaient peu fréquents. Selon les données recueillies, les intervalles séparant les incendies majeurs dans les forêts feuillues des vallées et des bas de pente riches en éléments nutritifs étaient de 800 à 1 200 ans (Lorimer, 1977). Selon certaines études effectuées dans le Maine, les forêts conifériennes des basses terres dominées par l'épinette rouge auraient subi des perturbations à grande échelle de nature légère à modérée, notamment des incendies, à des intervalles d'environ 250 ans (Lorimer, 1977). Dans la partie québécoise de l'écozone, l'intervalle des feux pourrait avoir atteint 1000 ans, principalement en raison de la rareté relative d'essences favorisant les incendies comme le pin gris et le pin blanc.

Insectes et maladies

En conditions naturelles, les perturbations et le remplacement des forêts se produisent en petites parcelles et résultent normalement d'une mortalité causée par des insectes et des maladies, parfois des dégâts causés par le verglas. Les insectes forestiers indigènes peuvent provoquer d'importantes modifications dans la composition et la structure des forêts au cours des cycles naturels de succession forestière (SCF, 1999a). Selon les données que nous possédons sur les forêts anciennes du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie, les perturbations en placettes induites par le vieillissement et la mort des arbres individuels, ainsi que par les infestations localisées d'insectes et de maladies, étaient l'un des principaux processus d'évolution des peuplements dans les forêts humides (Ministère des Ressources naturelles, 2003). Ainsi, la structure forestière était généralement inéquienne. Dans les forêts de sapin baumier, par exemple, ce processus permettait l'établissement d'une importante composante d'épinette blanche et d'espèces qui lui sont associées comme le bouleau à papier.

L'écozone de l'Atlantique maritime a subi les attaques de deux insectes forestiers incontournables dont la distribution s'étend sur une bonne partie des forêts du Canada à l'est des montagnes Rocheuses. Les infestations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et de la livrée des forêts ont été cycliques sans pour autant être prévisibles. Ces infestations ont parfois duré plus de cinq ans. La tordeuse des bourgeons de l'épinette, en dépit de son nom, préfère le sapin baumier. La livrée des forêts s'attaque quant à elle aux arbres feuillus, particulièrement le peuplier faux-tremble et les bouleaux. En raison des défoliations répétées qu'elles infligeaient, qu'elles soient légères ou modérées, les infestations prolongées de l'un ou l'autre de ces insectes ont fait diminuer la croissance et augmenter la mortalité dans les peuplements de façon significative (Sterner et Davidson, 1982; Hall et Moody, 1994; Frontline Express, 2001). Dans les forêts antérieures à la colonisation, les pullulations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette étaient toutefois moins étendues que celles qui ont été enregistrées au XX^{e} siècle (Lortie, 1979).

Plusieurs autres insectes indigènes ont causé des dommages ou des défoliations à divers degrés dans les forêts de cette écozone, notamment l'arpenteuse de la pruche, le charançon du pin blanc, la

chenille à houppes blanches, le dendroctone de l'épinette, le dendroctone du mélèze, la tenthrède à tête jaune de l'épinette, le diprion du sapin, le puceron des pousses du sapin et le charançon de l'écorce (Carter, 2002; Carter, 2001; Carter, 2000; Georgeson, 2002). Ces insectes sont capables d'infliger une défoliation sévère et de provoquer de la mortalité, mais, dans le passé, il n'ont pas causé autant de dégâts que la tordeuse des bourgeons de l'épinette ou la livrée des forêts.

Influences écologiques actuelles

Insectes et maladies

La tordeuse des bourgeons de l'épinette est encore une importante source de perturbations au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse dans les types forestiers conifériens des hautes terres et des basses terres ainsi que dans les forêts résineuses côtières. Dans certaines parties de l'écozone, par exemple dans l'Île-du-Prince-Édouard, les infestations de la tordeuse ont pris de l'importance depuis quelques décennies. Avant l'arrivée des Européens, l'Île-du-Prince-Édouard était couverte de forêt à 98 % et comprenait un mélange de types forestiers typiques des hautes terres, mais depuis les années 1900, les zones boisées ont été réduites à environ 30 % du territoire (Glen, 1997). Après les années 1930, l'évolution sociale a amené l'abandon de nombreuses fermes et le retour progressif d'un couvert forestier composé d'essences typiques du début de succession, principalement l'épinette blanche. L'île est actuellement boisée à presque 45 % (Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry, 2003). Cette nouvelle réalité se constate dans les données de la défoliation par la tordeuse. Avant les années 1950, cet insecte était rarement noté dans les relevés, mais dès 1954 il avait causé des défoliations sévères dans 80 % des forêts d'épinette-sapin de l'Île-du-Prince-Édouard (MacKinnon, 1997). Au Québec, au cours du XX^{e} siècle, les infestations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ont pris de l'expansion en raison de l'influence des activités humaines : autrefois locales ou régionales, elles s'étendent maintenant sur toute la province (Lortie, 1979). Le nombre d'infestations a beaucoup augmenté en Gaspésie au cours de cette période, mais cela s'explique en partie par la modification de la composition forestière qui fait suite à la mortalité de l'épinette causée par la tenthrède européenne de l'épinette, un insecte exotique envahissant introduit après 1920, et par la mortalité du bouleau résultant d'un dépérissement lié au climat (Lortie, 1979). La nouvelle composition forestière provoquée par ces phénomènes, comprenant une proportion accrue de sapin baumier, représentait une situation idéale pour l'implantation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Un nouveau cycle d'infestations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette est prévu pour les prochaines années. Une combinaison de conditions climatiques favorables soutenues par l'âge des forêts et leurs superficies ininterrompues font progresser les effectifs de l'insecte.

La livrée des forêts est le principal défoliateur du peuplier faux-tremble, une espèce pionnière qui pousse rapidement sur les sites affectés par l'incendie ou sur les parterres de coupe. C'est une espèce commune dans les peuplements mixtes issus de l'incendie et les forêts mixtes des hautes terres. Contrairement à la tordeuse des bourgeons de l'épinette, la livrée des forêts n'entraîne pas de conséquences économiques sérieuses pour l'industrie forestière. Les infestations récentes de l'insecte dans les Provinces maritimes ont duré de 1979 à 1984 et de 1991 à 1996, s'étendant sur 0,4 à 1,4 millions d'hectares. Depuis 1996, les défoliations ont été peu nombreuses et localisées (Carter, 2002; Hurley et Magasi, 1996; Hurley et Magasi, 1995). Dans la partie québécoise de l'écozone, l'impact de la livrée des forêts a été faible sur le plan économique ou écologique. De fait, la tordeuse du tremble et la mineuse serpentine du tremble ont causé plus de dommage que la livrée des forêts (Ministère des Ressources naturelles, 2002b).

Le charançon du pin blanc s'attaque de plus en plus aux plantations d'épinette et de pin dans la partie québécoise de l'écozone. Dans les régions du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie, par exemple, sa présence dans les plantations d'épinette de Norvège est passée de 15 % en 1990 à 41 % en 2001 (Ministère des Forêts et Forêts Canada, 1991; Ministère des Ressources naturelles, 2002a; Parent, 2002c). Toutefois, les dommages demeurent légers. En Estrie, le charançon est présent dans plus de 80 % des plantations et ses dommages sont considérés comme modérés à sévères.

Les plantations affectées par la rouille vésiculeuse du pin blanc dans la région du Bas-Saint-Laurent–Gaspésie sont passées de 60 % en 1992 à 92 % en 2001 (Ministère des Ressources naturelles, 2002a; Parent, 2002c). En moyenne, 20 % des arbres en étaient affectés. Les dommages sont considérés comme modérés à sévères dans 70 % de ces plantations.

Affectation des terres

L'augmentation de la fréquence, de l'étendue et de la gravité des infestations de la tordeuse des

bourgeons de l'épinette au cours des 50 dernières années a été attribuée en partie aux pratiques courantes d'aménagement des forêts (Blais, 1983). La mortalité a atteint un sommet dans les années 1980, au cours de la dernière infestation généralisée. Depuis lors, les superficies défoliées par cet insecte ont diminué partout, les dernières infestations régionales d'importance ayant été notées au milieu des années 1990 (Carter, 2000).

Bien que pour le secteur forestier l'impact économique de la plupart des autres insectes indigènes ait été comparativement beaucoup plus faible que celui de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, cet impact est néanmoins en croissance dans le cas de certains. Les éclaircies précommerciale et les plantations créent des conditions qui favorisent l'expansion des populations du diprion du sapin et de la tenthrède à tête jaune de l'épinette. Dans les conditions forestières naturelles, la défoliation causée par ces insectes a peu de conséquences pour la santé des arbres. Leur progression dans les plantations (épinette blanche, épinette noire et épinette de Norvège ainsi que pin blanc, pin rouge et pin gris) (Ministère des Forêts et Forêts Canada, 1991; Ministère des Ressources naturelles, 2002a; Parent, 2002e) pourrait faire augmenter les coûts de la protection visant à prévenir les attaques d'une myriade d'insectes et de maladies indigènes. Il s'agit entre autres du charançon du pin blanc, dans le cas des plantations de pin et d'épinette, et du chancre scléroderrien, causé par le champignon *Gremmeniella abietina*, qui a tendance à s'attaquer au pin rouge et au pin gris. Actuellement, les mesures de protection et d'aménagement semblent réduire au minimum les dommages de ces ravageurs. Doté de plantations, le paysage est davantage dominé par une seule essence, ce qui augmente le risque d'infestation par les grands agents infectieux. Dans un écosystème forestier plus diversifié, le risque d'infestation catastrophique, avec son cortège de conséquences économiques, n'est pas aussi élevé.

Dans les forêts mixtes des hautes terres, la récolte sélective des arbres de grande valeur, au cours des deux derniers siècles, a fait augmenter la composante feuillue et celle du sapin baumier. La première espèce qui a été récoltée dans ce type forestier a été le pin blanc, suivi du mélèze et des grandes épinettes (Perley, 1847). La pruche a été abattue pour son tanin afin d'appuyer la florissante industrie du cuir à la fin du XIX^{e} siècle et au début du XX^{e}. Le thuya a été exploité pour la fabrication de poteaux de clôture et de bardeaux de toit. Le seul conifère qui n'a pas été récolté avant le XX^{e} siècle a été le sapin baumier. Par conséquent, cette espèce est devenue avec le temps de plus en plus commune. D'immenses étendues de la forêt mixte originale des hautes terres ont été abattues et remplacées par une forêt mixte plus jeune ou une forêt de feuillus, ou ont été converties en plantations de conifères. Au Nouveau-Brunswick, environ le tiers des superficies forestières qui sont coupées à blanc à chaque année sont replantées avec de l'épinette noire et de l'épinette blanche ainsi que du pin gris.

Biodiversité

Impact des espèces exotiques envahissantes

De toutes les menaces qui se dressent devant la biodiversité dans l'ensemble du monde, seules les pertes d'habitat sont plus graves que les espèces exotiques envahissantes (Wilcove, 1998). Dans cette écozone, les insectes et maladies exotiques envahissants deviennent un problème écologique sérieux. La plupart des espèces introduites n'ont pas encore causé de dommages sérieux, bien qu'on connaisse mal leur impact écologique individuel ou combiné. Selon les relevés de Ressources naturelles Canada, de 16 à 22 ravageurs forestiers exotiques envahissants ont régulièrement fait certains dégâts en certains points de l'écozone entre 1985 et 1994. Certaines de ces espèces ont toutefois causé des perturbations écologiques importantes (SCF, 1999b). La maladie hollandaise de l'orme, causée par le champignon *Ophiostoma ulmi*, a réduit les populations de son hôte, l'orme d'Amérique, à un point tel que cette essence est devenue une composante mineure de l'écozone (Hall *et al.*, 1996). La rouille vésiculeuse du pin blanc, causée par le champignon *Cronartium ribicola*, a été introduite au Canada vers 1916 et elle a également décimé son hôte, le pin blanc, dans l'ensemble de son aire. Dans les Maritimes, par exemple, 84 000 m^{3} de pin blanc sont disparus annuellement entre 1977 et 1981 (Sterner et Davidson, 1982) et ces pertes se poursuivent.

La maladie corticale du hêtre, causée par le champignon *Nectria coccinea* var. *faginata*, a été introduite en Amérique du Nord en passant par Halifax, en Nouvelle-Écosse, dans les années 1890, et elle a tué des peuplements entiers de hêtre à grandes feuilles à mesure qu'elle s'étendait vers le nord et vers l'ouest dans l'ensemble des Provinces maritimes (Houston *et al.*, 1979). Le hêtre, qui se régénère facilement par rejets de souche, a réussi à rétablir ses populations dans ces peuplements, mais sa productivité est sérieusement réduite et les sujets sont déformés par la maladie, de sorte que la composante de cette essence dans

les forêts feuillues ne regagnera jamais son importance écologique d'antan.

Le puceron lanigère du sapin, un insecte européen découvert dans les Maritimes en 1908, s'étend maintenant sur plus de 10 millions d'hectares dans l'ensemble des Provinces maritimes, de l'Est du Québec et de Terre-Neuve-et-Labrador. La mortalité des arbres, le dépérissement de la cime, les pertes de croissance et de qualité du bois en sont les effets les plus importants. Récemment, son impact s'est limité aux régions côtières, mais les ingénieurs forestiers du Sud du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse ont détecté une augmentation de la mortalité des arbres ainsi qu'un impact sur la valeur esthétique des sujets cultivés comme arbre de Noël en raison d'augmentations locales significatives des populations de l'insecte (Carter, 2002; Georgeson, 2002).

La maladie corticale du hêtre : un agent de changement

Le hêtre à grandes feuilles est une espèce feuillue tolérante de l'Est de l'Amérique du Nord dont la distribution s'étend de la côte est du Canada, dans les Provinces maritimes, jusqu'à environ 100 km à l'ouest du lac Michigan et jusqu'au milieu du Texas vers le sud (Tubbs et Houston, 1990). Plusieurs populations isolées se trouvent au Mexique. Selon les premières descriptions de l'Atlantique maritime, le hêtre à grandes feuilles y était l'arbre feuillu le plus commun dans les forêts antérieures à la colonisation, dominant les crêtes feuillues et constituant jusqu'à 60 % des arbres dans les forêts du centre de l'île du Prince-Édouard (Sobey, 2002). Il était fréquent dans l'ensemble de l'écosystème à forêt mixte tolérante.

Hêtre d'Amérique atteint de la maladie corticale (*à gauche*) et hêtre sain (*à droite*).

Vers 1890, le complexe de maladies et d'insectes qui a été introduit à Halifax a été dévastateur. La cochenille du hêtre, *Cryptococcus fagisuga*, s'attaque aux hêtres et augmente leur susceptibilité à un champignon de l'écorce, habituellement le *Nectria coccinea* var. *faginata*, quelquefois *N. galligena*, dans les premiers temps de l'infection (Houston, 1994). La maladie s'est répandue dans une bonne partie de l'écozone de l'Atlantique maritime, le Québec, les États de la Nouvelle-Angleterre, le Nord de la Pennsylvanie et l'État de New York. Elle a été détectée jusqu'en Virginie de l'Ouest vers le sud, et en Ontario et en Ohio vers l'ouest. Divers propriétaires ont fait état de mortalité des arbres dans le Nord-Ouest du Nouveau-Brunswick en 2002 et peut-être avant. La plupart des hêtres de la partie sud de la région sont infectés, un peu moins dans le Nord du Nouveau-Brunswick. Il faudra faire des études sur le terrain pour déterminer l'étendue des dommages signalés par les propriétaires de boisés et pour savoir s'il s'agit d'une poussée nordique de ce qu'on appelle la « ligne de front » de la mortalité.

De nombreux arbres matures ont été tués sur le premier « front » ou durant les attaques frontales subséquentes. D'autres sont si fortement atteints par la maladie que l'aménagement du hêtre est devenu un sérieux défi dans les secteurs à forêt feuillue. Il ne s'agit pas seulement de pertes économiques; les arbres malades produisent peu de graines, réduisant d'autant la quantité et la qualité des faines pour la faune. Les rejets de souche sont souvent abondants, mais les jeunes arbres sont déformés et, bien souvent, ne montrent pas les symptômes de la maladie avant l'âge de 30 ans ou plus. Le hêtre est devenu une composante mineure des écosystèmes forestiers dans une bonne partie de la région. De nombreux peuplements de feuillus tolérants dotés de hêtres comprennent toutefois quelques sujets libres de la maladie, lesquels, selon certaines études, possèdent probablement une résistance génétique à la cochenille (Houston, 1983). Le Centre de foresterie de l'Atlantique du SCF de Ressources naturelles Canada a entrepris des travaux pour faire la propagation des arbres libres de maladie et tester leur résistance.

Les minima de la température hivernale gouvernent la survie de l'insecte au cours de la saison froide et les hivers modérés des dernières années ont permis aux populations de la Nouvelle-Écosse de prendre de l'expansion (Georgeson, 2002).

La spongieuse, d'abord détectée au Canada en 1924 en certains points de l'écozone de l'Atlantique maritime situés en Estrie (Martineau, 1984) et en 1936 au Nouveau-Brunswick, était considérée comme éradiquée jusqu'à ce qu'on confirme son rétablissement

Le longicorne brun de l'épinette — Première mention en Amérique du Nord

Le cycle de vie du longicorne brun de l'épinette est bouclé en un an. Les adultes émergent parfois dès la fin de mai. Les femelles qui se sont accouplées pondent des œufs sous des écailles de l'écorce, un à la fois ou en groupes de deux ou trois. Les larves se nourrissent sous l'écorce dans le phloème (tissus vivant qui transporte les éléments nutritifs de l'arbre) et le cambium (les cellules actives qui se divisent pour produire le phloème sur leur couche externe et le bois sur leur couche interne) en formant de vastes réseaux de galeries larges et irrégulières. L'aubier est légèrement marqué. Les arbres attaqués par l'insecte produisent de la résine qui s'écoule le long du tronc. Cette résine est parfois très abondante et correspond vraisemblablement à l'intensité de l'attaque et à son ancienneté. L'insecte passe l'hiver à l'état de larve et, une fois sa croissance terminée, il se construit une chambre pupale distinctive en forme de crochet soit dans l'aubier, soit dans l'écorce. L'adulte émerge de l'arbre le printemps ou l'été suivant par un trou de sortie de 4 mm (Smith et Humble, 2001; Sweeney *et al.*, 2001).

Mortalité dans un peuplement d'épinette rouge dans le parc Point Pleasant d'Halifax en Nouvelle-Écosse en 1998. (*Ci-dessus*) La résine qui s'écoule le long du tronc d'une épinette rouge est un symptôme typique. (*À gauche*) Adulte mâle du longicorne brun de l'épinette (longueur moyenne de 1 à 1,5 cm).

La découverte de Halifax était une première en Amérique du Nord pour cet insecte perceur européen (Smith et Hurley, 2000). L'Agence canadienne d'inspection des aliments, par l'entremise de son processus d'évaluation des risques phytosanitaires, a déterminé que le longicorne brun de l'épinette était justifiable de quarantaine aux termes de la Loi sur la protection des végétaux. Cet insecte est considéré comme d'importance secondaire en Europe, car il n'attaque que les arbres stressés et moribonds, mais il s'en prend aux arbres sains au Canada (ACIA, 2000). Son comportement est dû à l'absence de facteurs naturels de répression, ou d'une combinaison appropriée de ces facteurs, notamment les prédateurs, les parasites et les maladies, ou au fait qu'il rencontre peu de résistance chez ses nouveaux hôtes. La période nécessaire pour provoquer la mort de l'arbre est mal connue parce qu'il est difficile de dire en quelle année l'attaque a commencé. De nombreuses variables peuvent influer sur le déclin et la mortalité des arbres. La mort de l'arbre peut venir en deux à trois ans, mais peut également survenir jusqu'à cinq ans après l'infestation.

Les forêts d'épinette sont les plus visées par les attaques. Selon les données préliminaires, le sapin baumier, le mélèze et le pin ne sont pas les hôtes préférés de l'insecte (Sweeney et Smith, 2002). L'épinette rouge semble plus sensible que les autres espèces d'épinette. Mais si le longicorne brun de l'épinette venait à s'établir dans les peuplements comprenant une part importante d'autres espèces comme l'épinette blanche, son expansion dans le reste de l'écozone et dans les forêts de l'écozone boréale adjacente serait une inquiétante possibilité.

en 1959 dans le Sud du Québec et en 1981 dans le Sud-Ouest du Nouveau-Brunswick. Depuis quelques années, la spongieuse a surtout défolié les chênes et les bouleaux de la région de Grand Lake du centre sud du Nouveau-Brunswick (Carter, 2002). Si la progression de cet insecte se poursuit dans cette écozone, il s'en suivra d'importantes conséquences pour la santé des forêts.

Ces dernières années, d'autres ravageurs forestiers introduits ont été découverts dans cette écozone : le chancre du noyer cendré, causé par le champignon *Sirococcus clavigignenti-juglandacearum*, en 1995 (Ministère des Ressources naturelles, 1997; Harrison *et al.*, 1998), le grand hylésine des pins en 1998, en Estrie, et le longicorne brun de l'épinette en 1999 à Halifax (Smith et Hurley, 2000). Le chancre du noyer cendré a été analysé dans le rapport de 1998 *L'État de santé des forêts au Canada : un sommaire 1998* (SCF, 1999a). Il suscite toujours des inquiétudes à l'intérieur de l'écozone, et son hôte fait l'objet d'une évaluation par le Comité sur le statut des espèces en péril au Canada.

Le longicorne brun de l'épinette est un insecte originaire d'Europe qui a été découvert dans des épinettes rouges moribondes de la municipalité régionale de Halifax en Nouvelle-Écosse en 1999 (Smith et Hurley, 2000). D'autres essences ont été attaquées par cet insecte, notamment l'épinette blanche et l'épinette noire. On croit que ce longicorne a atteint la région dans du bois d'emballage ou de fardage. L'Agence canadienne d'inspection des aliments a soumis à des restrictions le déplacement des pièces de bois possiblement infestées en déclarant une zone de quarantaine. L'agence dirige actuellement une enquête et un programme d'éradication avec la collaboration d'organismes fédéraux et provinciaux.

La mouche de l'airelle, autrefois présente dans les Provinces maritimes, a été introduite au Québec en 1996. Elle se rencontre localement en Gaspésie. Bien qu'il s'agisse d'un parasite agricole, elle peut porter atteinte aux écosystèmes forestiers parce qu'elle se plaît sur de nombreuses plantes et arbustes habitant les forêts : canneberge, gaulthérie, aronie à fruits noirs, amélanchier de Bartram et quatre-temps. La mouche de l'airelle est une sérieuse menace pour la biodiversité forestière (DesRochers et Proulx, 2001).

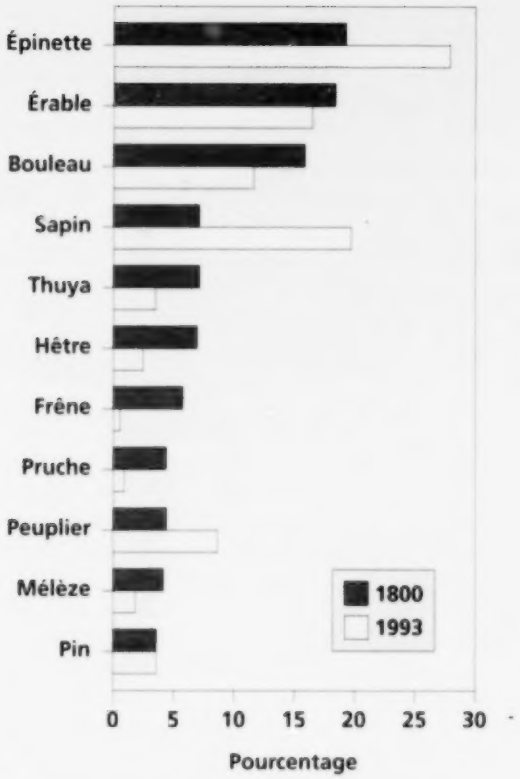
Impact de l'affectation des terres

Le mode d'occupation des terres a eu un impact généralisé sur la structure et la composition des forêts de cette écozone. La conversion des forêts en terres agricoles et en zone d'activités forestières, y compris

Chêne à gros fruits typique d'une croissance en milieu ouvert, dans la vallée inférieure du Saint-Jean au Nouveau-Brunswick.

la récolte, a eu les conséquences les plus durables. Une grande partie des forêts les plus riches ont été défrichées à des fins agricoles, et les plaines inondables ont été transformées en cours d'eau permanents après l'érection de barrages. Par exemple, à peine 0,8 % des superficies pouvant accueillir les forêts tolérantes d'érable à sucre et de hêtre dans la vallée supérieure du Saint-Jean conserve ce type de forêt de nos jours (MacDougall et Loo, 1998). Les forêts qui ont échappé à ce type de conversion à l'agriculture ont subi plusieurs générations de récoltes sélectives qui en ont changé la structure et la composition. Le chêne à gros fruits, dans les plaines inondables, est l'une des espèces qui risquent la disparition (McPhee, 2001). C'est une espèce préoccupante pour le groupe de travail sur la conservation des gènes du Nouveau-Brunswick. Cet organisme multipartenaires est d'avis qu'il faut instituer des mesures de conservation des gènes pour assurer l'intégrité du patrimoine génétique indigène. L'aire de répartition et l'occurrence de cette espèce ont considérablement diminué et son habitat de prédilection est fortement sollicité à d'autres fins. Le chêne à gros fruits est disparu de la vallée supérieure du Saint-Jean (au-dessus de Fredericton) et il est rare dans sa partie inférieure (après Lower Gagetown).

Selon une étude des forêts précoloniales du Sud du Nouveau-Brunswick, il s'est produit une transformation radicale des associations végétales : les feuillus tolérants ont été remplacés par le sapin baumier, l'épinette et le peuplier (Lutz, 1997; Betts et Loo, 2002).



Composition des forêts du Sud du Nouveau-Brunswick en 1800, avant la colonisation européenne, et en 1993.

Le hêtre, en particulier, a connu un déclin dramatique, et l'érable et le bouleau ont vu leurs nombres réduits aux deux tiers de leur fréquence d'il y a 200 ans, tandis que la fréquence du sapin baumier et du peuplier a plus que triplé au cours de la même période. En général, la distribution des espèces était plus uniforme il y a deux siècles qu'aujourd'hui.

La récolte s'est faite par abattage sélectif des espèces les plus recherchées durant les 150 premières années de la colonisation européenne. Depuis 50 ans, cette récolte prend le plus souvent la forme d'une coupe à blanc. L'effet global de cette exploitation est caractérisé par une réduction, en proportion, de la pruche, du pin et de l'épinette rouge ainsi que des arbres feuillus tolérants, et une augmentation du sapin baumier et de l'épinette noire. Jusqu'à ce que l'industrie forestière cherche à produire de la pâte de bois au lieu du bois d'œuvre, vers 1930, seuls les grands arbres étaient recherchés. Mais en raison des progrès technologiques et de l'importance accrue de la pâte, la taille moyenne des arbres récoltés a été revue à la baisse (Loo et Ives, 2003). Il reste peu de grands arbres dans les forêts résineuses de cette écozone. La partie québécoise de l'écozone renferme 72 forêts exceptionnelles (rares, anciennes et refuges), qui couvrent ensemble 9 200 hectares. Pour protéger les caractéristiques uniques de ces forêts, 33 de celles-ci (6350 ha) sont protégées par la Loi sur les forêts, promulguée en décembre 2002 (Ministère des Ressources naturelles, 2003; Parent, 2002d).

Environnement atmosphérique

Impact de la pollution de l'air

La recherche et le monitoring réalisé dans la forêt modèle de Fundy ou dans les environs a démontré l'impact cumulatif potentiel de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes forestiers des Maritimes (Percy *et al.*, 2002b). Le parc national de Fundy reçoit régulièrement des dépôts acides significatifs provenant de loin. Les concentrations d'ozone dans la région de Fundy excèdent les seuils d'impact sur la végétation selon les normes canadiennes établies pour ce produit[2] (Percy et al., 2002b). On prévoit que l'ozone sera une menace grandissante pour la santé des forêts tant sur le plan national que régional, ou même mondial (Percy *et al.*, 2003a).

L'un des effets directs de l'exposition aux niveaux actuels d'ozone troposphérique, du moins pour la plus répandue des essences forestières canadiennes (le peuplier faux-tremble), c'est l'activité accrue des insectes défoliateur et de plusieurs maladies importantes (Percy *et al.*, 2002a; Pecy *et al.*, 2003b). L'effet combiné de la détérioration de la qualité de l'air et du réchauffement climatique prévu par les scientifiques pourrait aggraver leur impact respectif sur les cycles essentiels (McLaughlin et Percy, 1999; Karnosky *et al.*, 2003).

Aucune recherche écologique intégrée n'a été réalisée dans cette écozone afin de vérifier ses cycles essentiels dans le contexte de l'environnement atmosphérique où se déroule la croissance forestière. Par conséquent, deux espèces importantes sensibles aux dépôts acides (épinette rouge et bouleau à feuilles cordées) et à l'ozone (bouleau à feuilles cordées) et un indicateur de changement, la qualité de la cime, ont été mis à profit pour donner une idée de cet impact.

Selon les recherches, il existe un lien causal direct entre la détérioration de la qualité de l'air (hausse de

2. On trouvera de l'information sur les normes pancanadiennes dans le site suivant : http://www.ec.gc.ca/RegistreLCPE/agreements/cws.cfm.

Cartographie des zones forestières sensibles aux dépôts de soufre et d'azote

En 1997, la Conférence des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada (GNA/PMEC) a reconnu que les dépôts acides étaient un problème commun exigeant une approche régionale sur le plan de la recherche et des décisions stratégiques. Un plan d'action visant les pluies acides a par la suite été approuvé à la fin de 1999. Parmi les nombreuses mesures spécifiques qui y étaient recommandées, il y avait la création d'un groupe de travail sur la cartographie des forêts, dont l'objectif précis était de déterminer la sensibilité des forêts des hautes terres du Nord-Est de l'Amérique du Nord aux polluants acides sulfureux et azotés et de corréler cette sensibilité aux pertes éventuelles de productivité forestière et d'en préciser les conséquences économiques pour le secteur forestier de la région (GNA/PMEC, 2002).

L'objectif du groupe de travail sur la cartographie des forêts est de déterminer les régions et les essences qui ont le plus à craindre des dépôts acides dans l'ensemble du territoire des GNA/PMEC et d'en dresser une carte précise. Il s'agit d'abord de rassembler l'information nécessaire sur les sols et de faire l'inventaire des essences forestières à risque, puis d'évaluer l'impact des pratiques forestières. Les cartes indiqueront éventuellement la sensibilité prévue des arbres aux dépôts acides (par exemple, les secteurs où l'on a trouvé des niveaux anormalement faibles d'éléments nutritifs en raison des pluies acides) et l'impact qui en résultera sur la durabilité des forêts (Arp *et al.*, 2001).

Le projet comprend deux phases dont la première est déjà réalisée. Celle-ci (phase de préparation), était un programme pilote visant à produire des cartes préliminaires d'après des données appartenant à des sites situés dans deux entités administratives (Terre-Neuve-et-Labrador et Vermont). Les cartes préliminaires de Terre-Neuve-et-Labrador ont montré que tous les secteurs forestiers de la province étaient actuellement durables (la carte ne montre aucun dépassement) (GNA/PMEC, 2002). D'autres données sur les sols sont en cours d'analyse pour améliorer la qualité de ces cartes. La première phase a permis de raffiner la méthodologie avant le lancement de la seconde phase. Celle-ci (phase opérationnelle) est déjà commencée et son objectif est d'évaluer la sensibilité forestière de l'ensemble de la région.

l'ozone et de la charge acide) et l'augmentation de la mortalité du bouleau à feuilles cordées. En outre, les données recueillies portent à croire que le brouillard acide a un effet secondaire sur le bouleau à feuilles cordées en le prédisposant aux maladies (Cox et al., 1996). Les risques pour la santé et la durabilité des forêts posés par les polluants atmosphériques comme l'ozone, les dépôts acides et les brouillards acides font l'objet d'études à l'aide de modèles géoréférencés. La mortalité dont il est question ici n'est pas liée au dépérissement observé dans les années 1940.

Impact potentiel des changements climatiques

Le réchauffement climatique qui résulte des émissions de gaz à effet de serre pourraient provoquer un bouleversement des saisons, des variations du climat et des événements climatiques extrêmes (SCF, 1999c), dont l'effet global sur les forêts de cette écozone pourrait dépasser grandement celui d'une petite augmentation de la température moyenne. L'instabilité climatique pourrait multiplier le nombre de tempêtes, ce qui, à son tour, ferait augmenter le risque de chablis sur de grandes étendues forestières. Les transformations écologiques suivantes pourraient résulter des changements climatiques (SCF, 1999c) :

- Hausse du rythme de croissance des arbres en raison de l'allongement de la saison végétative et du réchauffement des sols. Certaines espèces feuillues seraient ainsi mises à risque si un gel survient après un premier dégel des bourgeons et des racines.
- Modification des rythmes saisonniers pouvant affecter la synchronisation du développement des plantes par rapport à leurs compétitrices, ce qui modifierait les relations écologiques entre les végétaux ainsi que les populations végétales elles-mêmes.

- Relation entre les puits et les sources de carbone. Des pertes de carbone dans les forêts matures pourraient résulter d'une augmentation de la décomposition dans le sol et de l'augmentation des perturbations forestières naturelles. La forêt immature affectée par des polluants atmosphériques ne sera peut-être pas un puits de carbone aussi efficace.
- Augmentation du risque d'incendie par suite de l'accroissement des autres perturbations telles que les chablis et les infestations d'insectes, lesquels influent sur les quantités de combustible forestier.
- Hausse des températures minimales. Ce phénomène pourrait favoriser la survie des insectes indigènes à la limite nord de leur aire, ce qui ferait augmenter leur potentiel de nuisance pour les forêts. Un réchauffement climatique amènerait probablement une hausse du nombre d'espèces exotiques envahissantes et favoriserait leur établissement dans cette écozone.
- Dépérissement lié au climat. Avec le réchauffement du climat, les périodes hivernales de dégel seraient plus longues, ce qui favoriserait le dégel des racines et les dommages qui s'en suivraient à la reprise du gel. Par conséquent, les forêts accuseraient une baisse de croissance et un dépérissement, particulièrement chez certains feuillus.

Depuis 60 ans, il s'est produit des déclins à grande échelle de l'état sanitaire du bouleau dans certaines parties de cette écozone, tendance qui s'est aggravée depuis 30 ans (Cox et Malcolm, 1997). Les recherches sur les jeunes plants de bouleau jaune et les observations sur les arbres matures portent à croire que les dégels en hiver et les gels tardifs contribuent grandement à ce dépérissement (Zhu *et al.*, 2000; Zhu *et al.*, 2002; Cox et Zhu, 2003). La fréquence des événements de reprise du gel après un dégel a augmenté dans toute l'aire de répartition du bouleau jaune. Les changements climatiques, selon les prévisions, feront augmenter la fréquence et la durée de ces dangereuses périodes hivernales de dégel. Le dépérissement de ces arbres adaptés aux conditions nordiques pourrait s'aggraver. On a entrepris des études pour évaluer l'impact cumulatif des apports actuels et futurs des pluies acides, des périodes d'ozone et de la présence de mercure dans le brouillard sur le dépérissement du bouleau et l'état sanitaire des autres essences.

Tempête de verglas de 1998

La tempête de verglas de 1998 est l'un des grands événements climatiques qui aient touché le Sud-Est du Canada sur une aussi vaste étendue, et ses conséquences pour les forêts ont été profondes. Dans l'ensemble l'écozone de l'Atlantique maritime a été relativement peu affectée, mais les forêts de la partie sud-ouest de cette écozone ont toutefois été frappées de plein fouet. Dans les secteurs les plus touchés (ceux qui ont reçu jusqu'à 110 mm de pluie verglaçante), le dépérissement et la mortalité des arbres continue de progresser. Dans l'ensemble, plus de 70 % des arbres qui ont perdu 80 % ou plus de leur cime au cours de la tempête sont morts ou moribonds (B. Boulet, Ministère des Ressources naturelles, Québec, communication personnelle, et F. Raulier, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy (Québec), communication personnelle). Il s'est produit relativement peu de mortalité dans les forêts ayant reçu moins de 40 mm de pluie verglaçante.

On prévoit que les changements climatiques feront augmenter le nombre d'événements climatiques extrêmes comme cette tempête de pluie verglaçante. Au cours de l'hiver 2002 - 2003, une autre tempête de pluie verglaçante a causé des dommages importants dans le Sud-Est du Nouveau-Brunswick et le Nord de la Nouvelle-Écosse. Bien que cette tempête n'ait pas atteint l'échelle ni l'intensité de celle de 1998, les producteurs de sirop d'érable prévoient entre autres une baisse de la production de sève pour 2004. L'expérience de la tempête de 1998 au Québec montre toutefois que l'impact sur la production de sève est très variable et qu'il est lié au système de collecte utilisé avant la tempête autant qu'à celle-ci (G. Allard, Centre ACER, Saint-Hyacinthe (Québec), communication personnelle).

Annexe 1

Principaux écosystèmes forestiers de l'écozone de l'Atlantique maritime

L'écozone de l'Atlantique maritime comprend les Provinces maritimes, la Gaspésie et la région de l'Estrie au Québec. Elle occupe 20,4 millions d'hectares dont 16 millions d'hectares de forêt. La population y excède les 2,6 millions de personnes, surtout concentrée dans les villes. L'Île-du-Prince-Édouard est presque entièrement de propriété privée (environ 90 %), et les plus grandes tenures n'y excèdent pas 1 214 ha en raison de la loi. Un peu plus de la moitié des terres de la province sont consacrées à l'agriculture. La Nouvelle-Écosse est constituée de propriété privée à 75 % environ. Presque la moitié de la province est occupée par de petites propriétés privées et près de 75 % du territoire est couvert de forêt. Les terres forestières du Nouveau-Brunswick se divisent presque également entre terres publiques et terres privées, environ les deux tiers des terres privées étant formées de petites propriétés. La province est couverte de forêts à 90 %. Au Québec, la proportion de terres publiques est variable, c'est-à-dire 7 % en Estrie et 79 % en Gaspésie. Les forêts y couvrent 75 % et 95 % du territoire respectivement.

Feuillus tolérants — Sols riches

Ce type de forêts se subdivise en forêts des hautes terres et forêts des basses terres. Les forêts de feuillus tolérants occupant les hautes terres sont composées d'érable à sucre, de bouleau jaune, de hêtre, de frêne blanc et d'ostryer de Virginie, espèces qui sont fréquemment associées au tilleul et au noyer cendré dans l'aire de ceux-ci, à l'exclusion de l'Île-du-Prince-Édouard et de la Nouvelle-Écosse. Au Nouveau-Brunswick et au Québec, le tilleul et le noyer cendré sont des espèces caractéristiques des forêts feuillues des hautes terres riches. Les riches terres basses supportant les forêts feuillues se trouvent dans les plaines d'inondation et, selon leur situation dans la région, elles sont caractérisées par la présence d'érable argenté, d'orme d'Amérique, de chêne à gros fruits, d'érable rouge, de frêne rouge et de frêne noir, quelquefois de peuplier baumier. Au Québec, ce type de forêt est généralement connu sous le nom de domaine écologique de l'érablière à tilleul.

Feuillus tolérants — Crêtes et hauts de pente

Les feuillus tolérants qui occupent les crêtes et les hauts de pente diffèrent de ceux qu'on retrouve sur les sols riches des hautes terres parce que le sol n'y est pas aussi productif et que les crêtes sont plus exposées. Les espèces communes y sont le hêtre, l'érable à sucre, le bouleau jaune, le frêne blanc et l'ostryer de Virginie. Au Québec, ce type forestier est similaire au domaine de l'érablière à bouleau jaune.

Forêts mixtes — Hautes terres

La composition de ce type de forêt varie d'une région à l'autre de l'écozone, mais l'érable à sucre, le bouleau jaune, l'épinette rouge et le hêtre en forment les éléments de fin de succession. Les forêts claires des hautes terres ont une composante de sapin dans toute la région. Les forêts mixtes de basse altitude comprennent habituellement des éléments de pin blanc et de pruche du Canada. Les sols calcaires sont caractérisés par la présence supplémentaire du thuya occidental. L'épinette blanche et l'érable rouge se rencontrent en quelques endroits. Au Québec, ce type forestier est similaire au domaine de la bétulaie jaune à sapin.

Forêts mixtes issues de l'incendie

Ce type de forêt mixte ne se forme pas sans incendie. Il se trouve dans une bonne partie de l'écozone, sauf en Nouvelle-Écosse, et se compose en bonne partie de pin gris, de peuplier faux-tremble et d'épinette noire, souvent en association avec l'érable rouge, le bouleau à papier, le bouleau gris et le sapin baumier. Dans les stations sèches à sol bien drainé, on trouve des peuplements clairs caractérisés par le pin blanc, le chêne rouge et le pin rouge. Au Québec, sur les sites les moins favorables, ce type forestier ressemble au domaine de la bétulaie blanche à sapin.

Forêts mixtes — Terres humides

Ce type forestier est caractérisé par la présence de thuya occidental, de frêne noir et d'érable rouge,

quelquefois associés à une composante mineure d'épinette noire. Il se retrouve en parcelles éparses où le matériel originel d'un sol calcaire a évolué pour produire un sol relativement alcalin à mauvais drainage.

Forêts coniférienne — Terres humides

Ce type de forêt résineuse comprend de l'épinette noire et du mélèze, associés à une faible composante d'érable rouge, de sapin baumier et de bouleau gris. Il occupe généralement des sols tourbeux acides et se trouve en parcelles éparses, souvent autour des tourbières dans les régions basses de l'ensemble de la région.

Forêts coniférienne — Côtières

L'écozone de l'Atlantique maritime comprend de nombreux kilomètres de côtes, dont une bonne partie sont caractérisées par la présence d'épinette blanche et de sapin baumier. L'épinette rouge tend à remplacer l'épinette blanche le long de la baie de Fundy dans le Sud du Nouveau-Brunswick et le Nord de la Nouvelle-Écosse. Le bouleau à papier et l'érable rouge forment des composantes mineures de ce type forestier.

Forêts coniférienne — Hautes terres

Ce type forestier conifèrien des hautes terres comprend du sapin baumier, de l'épinette noire, de l'épinette blanche et des bouleaux à papier dispersés. À l'altitude maximale prédomine un sous-type aux arbres rabougris balayés par les vents, avec une composante de sorbier. Au Québec, sur les sites les plus favorables, ce type forestier est semblable au domaine de la bétulaie blanche à sapin.

Forêts coniférienne — Basses terres

Dans le tiers ouest de la Nouvelle-Écosse, ce type de forêt coniférienne des basses terres comprend de l'épinette rouge, du pin blanc et de la pruche du Canada, en association avec une composante mineure de feuillus tolérants. Ailleurs dans l'écozone, outre ces espèces, le sapin baumier constitue un élément important, avec de l'épinette noire, de l'épinette blanche, du mélèze et du thuya en quantités moindres.

Annexe 2

Noms scientifiques des organismes

amélanchier de Bartram, *Amelanchier bartramiana*

aronie à fruits noirs, *Photinia melanocarpa*

arpenteuse de la pruche, *Lambdina fiscellaria fiscellaria*

bouleau à feuilles cordées, *Betula cordifolia*

bouleau à papier, *Betula papyrifera*

bouleau gris, *Betula populifolia*

bouleau jaune, *Betula alleghaniensis*

canneberge, *Vaccinium macrocarpon*

chancre du noyer cendré, causé par le champignon *Sirococcus clavigignenti-juglandacearum*

chancre nectrien, causé par le champignon *Nectria galligena*

chancre scléroderrien, causé par le champignon *Gremmeniella abietina*

charançon de l'écorce, *Hylobius congener*

charançon du pin blanc, *Pissodes strobi*

chêne à gros fruits, *Quercus macrocarpa*

chêne rouge, *Quercus rubra*

chenille à houppes blanches, *Orgyia leucostigma leucostigma*

cochenille du hêtre, *Cryptococcus fagisuga*

dendroctone de l'épinette, *Dendroctonus rufipennis*

dendroctone du mélèze, *Dendroctonus simplex*

diprion du sapin, *Neodiprion abietis*

épinette blanche, *Picea glauca*

épinette de Norvège, *Picea abies*

épinette noire, *Picea mariana*

épinette rouge, *Picea rubens*

érable à sucre, *Acer saccharum*

érable argenté, *Acer saccharinum*

érable rouge, *Acer rubrum*

frêne blanc, *Fraxinus americana*

frêne noir, *Fraxinus nigra*

frêne rouge, *Fraxinus pennsylvanica*

gaulthérie, *Gaultheria procumbens*

grand hylésine des pins, *Tomicus piniperda*

hêtre à grandes feuilles, *Fagus grandifolia*

livrée des forêts, *Malacosoma disstria*

longicorne brun de l'épinette, *Tetropium fuscum*

maladie corticale du hêtre, causée par le champignon *Nectria coccinea* var. *faginata*

maladie hollandaise de l'orme, causée par le champignon *Ophiostoma ulmi*

mélèze laricin, *Larix laricina*

mineuse serpentine du tremble, *Phyllocnistis populiella*

mouche de l'airelle, *Rhagoletis mendax*

noyer cendré, *Juglans cinerea*

orme d'Amérique, *Ulmus americana*

ostryer de Virginie, *Ostrya virginiana*

peuplier baumier, *Populus balsamifera*

peuplier faux-tremble, *Populus tremuloides*

pin blanc, *Pinus strobus*

pin gris, *Pinus banksiana*

pin rouge, *Pinus resinosa*

pruche du Canada, *Tsuga canadensis*

puceron des pousses du sapin, *Mindarus abietinus*

puceron lanigère du sapin, *Adelges piceae*

quatre-temps, *Cornus canadensis*

rouille vésiculeuse du pin blanc, causée par le champignon *Cronartium ribicola*

sapin baumier, *Abies balsamea*

sorbier d'Amérique, *Sorbus americana*

spongieuse (race européenne), *Lymantria dispar*

tenthrède à tête jaune de l'épinette, *Pikonema alaskensis*

tenthrède européenne de l'épinette, *Gilpinia hercyniae*

thuya occidental, *Thuja occidentalis*

tilleul d'Amérique, *Tilia americana*

tordeuse des bourgeons de l'épinette, *Choristoneura fumiferana*

tordeuse du tremble, *Choristoneura conflictana*

Bibliographie

(ACIA) Agence canadienne d'inspection des aliments. 2000. Sommaire de l'évaluation des risques phytosanitaires : Longicorne brun de l'épinette. http://www.inspection.gc.ca/francais/sci/surv/bslb/sumsomf.shtml (Dernière modification : 1er juillet 2000)

Arp, P.A.; Leger, W.; Moayeri, M.H.; Hurley, J.E. 2001. Methods for mapping forest sensitivity to acid deposition for northeastern North America. Ecosyst. Health 7(1):35–47.

Betts, M.; Loo, J. 2002. A comparison of pre-European settlement forest characterization methodologies. For. Chron. 78(3):422–432.

Blais, J.R. 1983. Trends in the frequency, extent, and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada. Can. J. For. Res. 13: 539–547.

Carter, N.E. 2000. Status of forest pests in New Brunswick in 1999. New Brunswick Department of Natural Resources and Energy, Forest Pest Management, Fredericton, NB.

Carter, N.E. 2001. Status of forest pests in New Brunswick in 2000. New Brunswick Department of Natural Resources and Energy, Forest Pest Management, Fredericton, NB.

Carter, N.E. 2002. Status of forest pests in New Brunswick in 2001. New Brunswick Department of Natural Resources and Energy, Forest Pest Management, Fredericton, NB.

(CCMF) Conseil canadien des ministres des forêts. 2000. Critères et indicateurs de l'aménagement durable des forêts au Canada. Bilan national 2000. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Ottawa. 124 p.

Cox, R.M.; Lemieux, G.; Lodin, M.1996. The assessment and condition of Fundy white birches in relation to ambient exposure to acid marine fogs. Can. J. For. Res. 26:682–688.

Cox, R.M.; Malcolm, J.W. 1997. Effects of duration of a simulated winter thaw on dieback and xylem conductivity of *Betula papyrifera*. Tree Physiol. 17:389–396.

Cox, R.M.; Zhu, X.B. 2003. Effects of simulated thaw on xylem cavitation, residual embolism, spring dieback and shoot growth in yellow birch. Tree Physiol. 23:615–624.

DesRochers, P.; Proulx, Y. 2001. Le Danger des ravageurs exotiques pour les forêts de l'est du Canada. Présentation PowerPoint, février 2001. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy (Québec).

(FAO) Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 2001. Global mapping. Pages 321–323 (Chapter 47) *in* Évaluation des ressources forestières mondiales [imprimé et en ligne]. Main Rep. FAO Forestry Pap.140. FAO, Rome, Italie. http://www.fao.org/forestry/fo/fra/main/index.jsp?lang_id=1

Georgeson, E. 2002. Preliminary report on the status of some Nova Scotia forest pests. Nova Scotia Department of Natural Resources, Integrated Pest Management Section. Forest Pest Management Forum, Ottawa, ON, 13–15 November 2002.

Glen, W.M. 1997. Prince Edward Island 1935/1936 Forest Cover Type Mapping. Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry, Silviculture Development Section, Forestry Division, Charlottetown, PE. 13 p.

(GNA/PMEC) Gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et premiers ministres de l'Est du Canada. 2002. Rapport sur les projets liés aux pluies acides présenté aux gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et aux premiers ministres de l'Est du Canada. 27e Conférence annuelle des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada, Québec (Québec), 25–27 août 2002.

Groupe de travail sur la stratification écologique, 1996. Cadre écologique national pour le Canada. Imprimé et en ligne. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale de la recherche, Ottawa / Environnement Canada, Direction générale de l'état de l'environnement, Direction de l'analyse des écozones, Hull (Qc). http://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/ecostrat/intro.html

Hall, J.P.; Magasi, L.P.; Carlson, L.W.; Stolte, K.; Niebla, E.; de Bauer, M.; Gonzalez-Vincente, C.E.; Hernández-Tejeda, T. 1996. L'État de santé des forêts nord-américaines. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Ottawa. 66 p. (Texte en anglais, français et espagnol)

Hall, J.P.; Moody, B.H., dir. de publ. 1994. Décroissement causé par les insectes et les maladies des arbres au Canada de 1982 à 1987. Ressources

naturelles Canada, Service canadien des forêts, Ottawa. Rapport d'information ST-X-8. 15 p.

Harrison, K.J.; Hurley, J.E.; Ostry, M.E. 1998. First report of butternut canker caused by *Sirococcus clavigignenti-juglandacearum* in New Brunswick, Canada. Plant Dis. 82:1282.

Houston, D.R. 1983. American beech resistance to *Cryptococcus fagisuga*. *In* Proceedings of IUFRO Beech Bark Disease Working Party Conference, 26 Sept.–8 Oct. 1982, Hamden, CT. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. WO-37.

Houston, D.R. 1994. Temporal and spatial shift within the *Nectria* pathogen complex associated with beech bark disease of *Fagus grandifolia*. Can. J. For. Res. 24:960–968.

Houston, D.R.; Parker, E.J.; Perrin, R.; Lang, K.J. 1979. Beech bark disease: A comparison of the disease in North America, Great Britain, France and Germany. Eur. J. For. Pathol. 9:199–211.

Hurley, J.E.; Magasi, L.P., dir de publ. 1995. Les ravageurs forestiers dans les Maritimes en 1994. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Fredericton (Nouveau-Brunswick). Rapport d'information M-X-194F.

Hurley, J.E.; Magasi, L.P., dir de publ. 1996. Les ravageurs forestiers dans les Maritimes en 1995. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Fredericton (Nouveau-Brunswick). Rapport d'information M-X-199F.

Johnson, R.S. 1986. Forests of Nova Scotia: A history. Nova Scotia Department of Lands and Forests and Four East Publications, Halifax, NS. 407 p.

Karnosky, D.F.; Percy, K.E.; Thakur, R.C.; Honrath, R.E. Jr. 2003. Air pollution and global change: a double challenge to forest ecosystems. *In* D.F. Karnosky, K.E. Percy, A.H. Chappelka, J. Pikkarainen, and C.J. Simpson, eds. Proceedings of IUFRO Conference on Air Pollution, Global Change and Forests in the New Millennium, Houghton, MI, 28–31 May 2000. Elsevier, Oxford. (In Press)

Loo, J.; Ives, N. 2003. The Acadian Forest: Historical condition and human impacts. For. Chron. 79(3):462–474.

Lorimer, C.G. 1977. The presettlement forest and natural disturbance cycle of northeastern Maine. Ecology 58:139–148.

Lortie, M. 1979. Arbres, forêts et perturbations naturelles au Québec. Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy (Québec). 172 p.

Loucks, O.L. 1962. A forest classification for the Maritime Provinces. Proc. NS Inst. Sci. 25(2): 85–167 (+ map).

Lutz, S.G. 1997. Pre-European settlement and present forest composition in King's County, New Brunswick, Canada. M.Sc. For. thesis, Univ. New Brunswick, Fredericton, NB. 48 p.

MacDougall, A.S.; Loo, J.A. 1998. Histoire naturelle de la forêt de feuillus de la vallée du Saint-Jean, située dans l'ouest du Nouveau-Brunswick et le nord-est du Maine. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie de l'Atlantique, Fredericton (Nouveau-Brunswick). Rapport d'information M-X-204F. 63 p.

MacKinnon, W. 1997. The spruce budworm on PEI—a collection of data over 44 years 1953–1996. Unpublished. Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry, Charlottetown, PE.

Martineau, R. 1985. Insectes nuisibles des forêts de l'est du Canada. Les Éditions Marcel Broquet et le Service canadien des forêts, Environnement Canada, et le Centre d'édition du Gouvernement du Canada, Approvisionnements et Services Canada. Rapport technique de foresterie 32F. 283 p.

McLaughlin, S.B.; Percy, K.E. 1999. Forest health in North America: Some perspectives on actual and potential roles of climate and air pollution. Water Air Soil Pollut. 116:151–197.

McPhee, D.A. 2001. Status description for bur oak, *Quercus macrocarpa*, in the Province of New Brunswick. M.Sc. For. thesis., Univ. New Brunswick, Fredericton, NB.

Ministère des Forêts et Forêts Canada. 1991. Insectes et maladies des arbres, Québec 1990. Service de la protection contre les insectes (Gouvernement du Québec) et les maladies et Centre de foresterie des Laurentides. Québec (Québec). 34 p.

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. 2003. Liste des écosystèmes forestiers exceptionnels classés en décembre 2002 [en ligne]. Gouvernement du Québec, Québec (Québec). http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-ecosystemes-liste.jsp

Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts.1997. Insectes et maladies des arbres, Québec 1996. Gouvernement du Québec, Québec (Québec). 35 p.

Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts. 2002a. Insectes et maladies des arbres/Portrait statistique/Plantations [en ligne]. Gouvernement du Québec, Québec (Québec). http://www.mrn.gouv.qc.ca/fimaq/ima/plan.asp

Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts. 2002b. Insectes et maladies des arbres/Portrait statistique/Forêts naturelles [en ligne]. Gouvernement du Québec, Québec (Québec). http://www.mrn.gouv.qc.ca/fimaq/ima/for_nat.asp

Nouvelles Express. La livrée des forêts. 2001. Bulletin N° 9 [imprimé et en ligne]. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault Ste. Marie (Ontario). http://www.glfc.forestry.ca/frontline/bulletins/bulletin_no.9_f.html

Parent, B. 2002a. Ressources et industries forestières, portrait statistique édition 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Chapitre 1, Portrait géographique du Québec forestier, 29 p. http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp

Parent, B. 2002b. Ressources et industries forestières, portrait statistique édition 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Chapitre 2, Zone d'inventaire intensif, 18 p. http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp

Parent, B. 2002c. Ressources et industries forestières, portrait statistique édition 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Chapitre 3, Protection des forêts québécoises, 24 p. http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp

Parent, B. 2002d. Ressources et industries forestières, portrait statistique édition 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Chapitre 4, Développement durable des forêts du Québec, 10 p. http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp

Parent, B. 2002e. Ressources et industries forestières, portrait statistique édition 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Chapitre 5, Aménagement forestier, 141 p. http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp

Percy, K.E.; Awmack, C.S.; Lindroth, R.L.; Kubiske, M.E.; Kopper, B.J.; Isebrands, J.G.; Pregitzer, K.S.; Hendrey, G.R.; Dickson, R.E.; Zak, D.R.; Oksanen, E.; Sober, J.; Harrington, R.; Karnosky, D.F. 2002a. Altered performance of forest pests under atmospheres enriched by CO_2 and O_3. Nature 420:403–407.

Percy, K.E.; Hurley, J.E.; Cox, R.M.; Dann, T. 2002b. Air quality and tree condition within the Fundy Model Forest. Pages101–107 *in* Fundy Model Forest Report on the Status of Local Level Indicators of Sustainable Forest Management Phase II 1997–2002. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Fredericton, NB. 209 p.

Percy, K.E.; Legge, A.H.; Krupa, S.V. 2003a. Tropospheric ozone: A continuing threat to global forests? *In* D.F. Karnosky, K.E. Percy, A.H. Chappelka, J. Pikkarainen, and C.J. Simpson, eds. Proceedings of IUFRO Conference on Air Pollution, Global Change and Forests in the New Millennium, Houghton, MI, 28–31 May 2000. Elsevier, Oxford.

Percy, K.E.; Mankovska, B.; Hopkin, A.; Callan, B.; Karnosky, D.F. 2003b. Ozone affects leaf surface pest interactions. *In* D.F. Karnosky, K.E. Percy, A.H. Chappelka, J. Pikkarainen, and C.J. Simpson, eds. Proceedings of IUFRO Conference on Air Pollution, Global Change and Forests in the New Millennium, Houghton, MI, 28–31 May 2000. Elsevier, Oxford.

Perley, M. 1847. Report on the forest trees of New Brunswick. Simmonds's Colonial Magazine. Vol. XI, No. 42. p.129–155, 314–324, 412–429 [en ligne]. Toronto, ON. http://www.nla.gov.au/ferg/issn/14606011.html

Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry. 2003. State of the Forest Report 1990–2000, Planning for the Future. December 2002.

Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry, Forestry and Land Resource Modeling Division, Charlottetown, PE. 49 p.

(SCF) Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada. 1999a. L'état de santé des forêts au Canada : Un sommaire 1998. Centre de foresterie de l'Atlantique, Fredericton (N.-B.). 61 p.

(SCF) Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada. 1999b. Les Ravageurs forestiers étrangers : Contexte du programme scientifique du Service canadien des forêts [imprimé et en ligne]. Direction générale des sciences, Ottawa, 16 p. http://www.nrcan-rncan.gc.ca/cfs-scf/science/context_pests/index_f.html

(SCF) Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada. 1999c. Les changements climatiques et la forêt : Contexte du programme scientifique du Service canadien des forêts [imprimé et en ligne]. Direction générale des sciences, Ottawa, 14 p. http://www.nrcan.gc.ca/cfs-scf/science/context_climate/index_f.html

Smith, G.A.; Humble, L.M. 2001. Longicorne brun de l'épinette. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, Victoria (Colombie-Britannique). Avis concernant un ravageur forestier exotique 5. 4 p.

Smith, G.; Hurley, J.E. 2000. First North American record of Palearctic species *Tetropium fuscum* (Fabricius) (Coleoptera: Cerambycidae). Coleopt. Bull. 54: 540.

Sobey, D. 2002. Early descriptions of the forests of Prince Edward Island: A source-book. Part 1: The French period—1534–1758. Prince Edward Island Department of Agriculture and Forestry, Charlottetown, PE. 180 p.

Sterner, T.E.; Davidson, A.G., dir. de publ. 1982. Insectes et maladies des arbres au Canada 1981. Environnement Canada, Service canadien des forêts, Administration centrale, Ottawa. 48 p.

Sweeney, J.; Smith, G. 2002. Host preference of the brown spruce longhorned beetle, *Tetropium fuscum* (Fabr.) on selected North American conifers (poster abstract). Page 94 *in* Sandra L.C. Fosbroke and Kurt W. Gottschalk, eds. Proceedings USDA Interagency Research Forum on Gypsy Moth and Other Invasive Species 2002, 15–18 January 2002, Annapolis MD. USDA Gen. Tech. Rep. NE-300.

Sweeney, J.; Smith, G.; Hurley, J.E.; Harrison, K.; de Groot, P.; Humble, L.; Allen, E. 2001. The brown spruce longhorn beetle in Halifax: Pest status and preliminary results of research. Pages 6–10 *in* Sandra L.C. Fosbroke and Kurt W. Gottschalk, eds. Proceedings USDA Interagency Research Forum on Gypsy Moth and Other Invasive Species 2001, 16–19 January 2001, Annapolis, MD. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-285.

Tubbs, C.H.; Houston, D.R. 1990. *Fagus grandifolia* Ehrh. American Beech. Pages 325–332 *in* R.M. Burns and B.H. Honkala, eds. Silvics of North America. Volume 2, Hardwoods. Agriculture Handbook 654. USDA For. Serv. Washington, DC.

Wilcove, D.S.; Rothstein, D.; Dubow, J.; Phillips, A.; Losos, E. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States: assessing the relative importance of habitat destruction, alien species, pollution, overexploitation, and disease. BioScience 48(8):607–615.

Zhu, X.B.; Cox, R.M.; Arp, P.A. 2000. Effects of xylem cavitation and freezing injury on dieback of yellow birch (*Betula alleghaniensis*) in relation to a simulated winter thaw. Tree Physiol. 20:541–547.

Zhu, X.B.; Cox, R.M.; Bourque, C.-P.A.; Arp, P.A. 2002. Thaw effects on cold-hardiness parameters in yellow birch. Can. J. Bot. 80:390–398.